EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

UEBER DIE ABSOLUTE

WÄRMELEITUNGSCONSTANTE DER LUFT.

INAUGURAL-DISSERTATION

EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT (II. SECTION).

DER

KGL. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN,

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

EGON MÜLLER.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH (ARTHUR MEINER).
1896.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

Seite

Einleitung 5
Die Berechnung der Wärmeleitungsconstante 6
Anordnung der Versuche 13
Versuche mit dem Metallapparat 16
Beschreibung des Apparates 16
Erste Methode der Untersuchung 20
Die Beobachtungen 21
Zweite Methode der Untersuchung 25
Die Beobachtungen 26
Versuche mit dem Glasapparat 27
Beschreibung des Apparates 27
Erste Methode der Untersuchung 29
Die Beobachtungen 30
Zweite Methode der Untersuchung 32
Die Herstellung des Vacuums 33
Die Beobachtungen 40
Neue Berechnung der Versuche von Kundt und Warburg und Graetz 44
Zusammenstellung der Resultate 47

Im Jahre 1875 erschienen in Poggendorff's Annalen fast gleichzeitig zwei Arbeiten, welche die experimentelle Bestimmung der absoluten Wärmeleitungsconstante der Luft zum Gegenstand hatten. Die eine von Kundt und Warburg[1]) welche für die gesuchte Constante den Werth $k = 0{,}0000\,480$ fanden[2]), die andere von Winkelmann[3]), der nach einer etwas anderen Methode zu dem Resultat $k = 0{,}0000\,525$ gelangte. Die Abweichung dieser beiden, auf verschiedene Weise erlangten Resultate, sollte sich mit der Zeit noch vergrössern. Die späteren Versuche von Graetz[4]) aus dem Jahre 1881, welcher nach der Methode von Kundt und Warburg arbeitete, ergaben $k = 0{,}0000\,484$, während Winkelmann in den Jahren 1891[5]) und 1893[6]) $k = 0{,}0000\,555$[7]) bez. $k = 0{,}0000\,568$ fand. Zur Erklärung dieser starken Abweichung von 15 Proc. in diesen beiden auf verschiedene Weise gefundenen Resultaten ist man geneigt, Ungenauigkeiten anzuführen, welche der einen oder der anderen Methode der Untersuchung anhaften.

Allen Untersuchungen, welche hier besprochen werden, lag die Dulong-Petit'sche Methode der Abkühlung eines Thermometers zu Grunde, dieselbe wurde aber zur Bestimmung der Wärmeleitung von Kundt und Warburg und Graetz anders verwerthet, als von Winkelmann, und zwar bestehen die Hauptunterschiede im Folgenden:

---

1) Kundt u. Warburg, Pogg. Ann. **156.** p. 177. 1875.

2) Nachdem Hr. Graetz 1881 den Wasserwerth des damals benutzten Thermometers genau bestimmt hatte, ergaben diese Versuche $k = 0{,}0000\,492$.

3) Winkelmann, Pogg. Ann. **156.** p. 497. 1875.

4) Graetz, Wied. Ann. **14.** p. 232. 1881.

5) Winkelmann, Wied. Ann. **44.** p. 177 u. 429. 1891.

6) Winkelmann, Wied. Ann. **48.** p. 180. 1893.

7) Eine genauere Berechnung dieser Versuche durch Hrn. Kutta (München. Dissert. 1894; Wied. Ann. **54.** p. 104. 1895) ergab $k = 0{,}00005\,715$.

1. Bei der Bestimmung der Wärmeleitungsconstante handelt es sich um die Trennung der durch Leitung abgegebenen Wärme von der, welche durch Strahlung verloren geht. Kundt und Warburg sowohl, wie Graetz bestimmten nun den Antheil der Strahlung an dem gesammten Wärmeverlust direct, indem sie den Apparat möglichst weit evacuirten, Winkelmann dagegen liess ein und dasselbe Thermometer in zwei verschieden grossen Hüllen erkalten. Da die durch Wärmeleitung abgegebene Wärmemenge von der Dicke der Luftschicht abhängt, die durch Strahlung verlorene aber nicht, so kann aus diesen Differenzbeobachtungen die Wärmeleitungsconstante gefunden werden.

2. Die Apparate, mit denen Kundt und Warburg arbeiteten, waren meistens Kugelapparate und aus Glas gefertigt, weil Glasapparate allein für die Herstellung des erforderlichen Vacuums genügend dicht halten. Winkelmann benutzte nur Metallapparate, um den Antheil der Strahlung an dem gesammten Wärmeverlust von vorn herein auf ein Minimum zu reduciren, und weil bei solchen Apparaten viel leichter die in Rechnung kommende Form exact genug hergestellt werden kann. Auch gab er denselben cylindrische Gestalt; erst im Jahre 1893 entschloss auch er sich, einen Kugelapparat anzuwenden, weil sich für einen solchen die Berechnung sicherer ausführen lässt.

3. Die Temperaturen, zwischen denen Kundt und Warburg und Graetz ihre Beobachtungen anstellten, waren 60° und 20°; Winkelmann beobachtete dagegen zwischen 18° und 8°, später sogar nur zwischen 14° und 10°.

4. Ein weiterer Unterschied in den beiden Methoden ist schliesslich noch in der Art der Berechnung zu finden, welche der Grösse des Beobachtungsintervalles entsprechend in beiden Fällen verschieden ist.

Meine Aufgabe soll es nun sein, durch Vergleichung dieser beiden Methoden mit allen ihren Abänderungen die Ursache der grossen Verschiedenheit in den Resultaten zu suchen.

Die Berechnung der Wärmeleitungsconstante.

Zur Bestimmung der Wärmeleitungsconstante diente mir ein Metallapparat und ein Glasapparat, welche beide Kugel-

gestalt von ziemlich denselben Dimensionen hatten (vgl. Fig. 3 und 4 p. 17 und Fig. 6 p. 28). Bedeutet:

R den Radius der Hülle,

r den Radius der Thermometerkugel,

w den Wasserwerth der Thermometerkugel,

v die Abkühlungsconstante des Apparates,

k die Wärmeleitungsconstante der Luft,

σ die Strahlungsconstante des Stoffes, welcher die Oberfläche der Thermometerkugel bildet,

g ein Correctionsglied, welches durch die innere, und

g' ein Correctionsglied, welches durch die äussere Wärmeleitungsfähigkeit des Thermometerstieles bedingt ist, so gilt, wenn der Einfluss der Strömungen auf die Abkühlungszeit des Apparates durch die Herstellung eines geringen Luftdruckes beseitigt ist, folgende Gleichung:

$$(1) \qquad w.v = k \cdot \frac{4\pi R r}{R - r} + \sigma . 4\pi r^2 + g + g'.$$

Es treten hier acht Grössen auf, von denen σ, g und g' eliminirt werden müssen, damit k aus den bekannten Stücken R, r, w und v bestimmt werden kann.

Die Art und Weise, wie diese Elimination zu erreichen ist, wird bei den Versuchen näher erörtert werden. An dieser Stelle möge zunächst eine kurze Betrachtung der Grössen g und g' folgen.

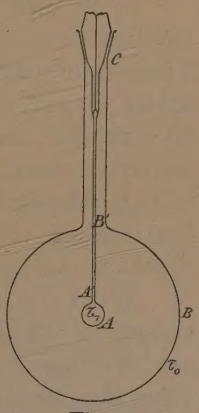

Fig. 1.

Es soll in Fig. 1 die Thermometerkugel zur Zeit t die Temperatur τ_1 haben, während die Hülle die Temperatur τ_0 besitzt. Es nehmen dann auf der Strecke AB die Temperaturen der aufeinander folgenden Luftschichten von τ_1 bis τ_0 ab. Die Temperatur des Stieles ist aber im Punkte B' nicht gleich τ_0, sondern etwas höher. Erst in einem viel weiter von A' entfernten Punkte C erreicht auch diese den Werth τ_0. Es hat also der Stiel auf der ganzen Strecke $A'C$ eine etwas höhere Temperatur als seine Umgebung und kann infolge dessen Wärme durch Strahlung und Leitung der Luft abgeben. Die Grösse g' hängt also ab von der Strahlungsconstante σ, von der Wärmeleitungsconstante k der Luft, von dem Abstand

der Hülle bez. des Stieles derselben vom Thermometerstiel und von dem an jeder Stelle herrschenden Temperaturgefälle zwischen Thermometerstiel und Hülle, welches sich ganz nach der Grösse der Strecke $A'C$ richtet. Wird $A'C = AB$, so wird $g' = 0$, denn jetzt hat der Stiel an allen Stellen dieselbe Temperatur, wie seine Umgebung. Die Grösse g hängt ab von der Dicke des Thermometerstieles, von der Wärmeleitungsfähigkeit des Glases und von der Entfernung $A'C$. Je grösser $A'C$ wird, um so kleiner wird g.

Zur Berechnung der Abkühlungsconstante v dient die Gleichung:

$$v \cdot \log e = \frac{\log \tau_0 - \log \tau_1}{t_1}. \tag{2}$$

t_1 bedeutet dabei die Zeit, welche vergeht, bis das Thermometer von τ_0 bis τ_1 gefallen ist. Die Temperaturen sind von der Temperatur des Bades (0°) an gerechnet.

Berechnet man für eine grössere Reihe von Werthen für τ die zugehörigen $v \cdot \log e$, so findet man, dass die Abkühlungsconstante von der Temperatur τ abhängig ist, welche das Thermometer angiebt. Diese Abhängigkeit lässt sich durch die Gleichung darstellen:

$$v = v_0 + v_1 \tau. \tag{3}$$

v_1 ist sehr klein und kann nur dann mit einiger Sicherheit bestimmt werden, wenn sich die Versuche auf ein grosses Temperaturintervall erstrecken. Kundt und Warburg und später Graetz haben deshalb ihre Beobachtungen zwischen 60° und 20° angestellt; sie konnten daher v_1 finden und berechneten dann die Abkühlungsconstante für die Temperatur 0° (v_0). Diesen Werth führten sie dann in ihre Gleichung zur Bestimmung von k ein und erhielten so die Wärmeleitungsconstante bezogen auf die Temperatur 0°.

Winkelmann beobachtete nur in einem kleinen Temperaturintervall 18° bis 8° und 14° bis 10°. Aus den dabei erhaltenen Werthen konnte v_1 nicht gefunden werden; er bestimmte daher den Mittelwerth von v (v_ϑ) und bezog denselben auf eine mittlere Temperatur ϑ der das Thermometer während des ganzen Versuches umgebenden Luft. Die Berechnung von ϑ hat Winkelmann im Jahre 1876[1]) durchgeführt. Als Resultat fand er:

1) Winkelmann, Pogg. Ann. **157.** p. 515 u. 516. 1876.

$$\vartheta = \frac{\tau_0 + \tau_1}{4},$$

wenn die Beobachtungen zwischen den Temperaturen τ_0 und τ_1 liegen.

Da Winkelmann v_ϑ in die Gleichung zur Bestimmung von k einführen musste, so bezog sich das so erhaltene k auch auf die Temperatur ϑ. k_0 wurde dann mit Hülfe des durch andere Messungen bestimmten Temperaturcoefficienten γ der Wärmeleitung aus der Gleichung gerechnet:

$$k_0 = \frac{k_\vartheta}{1 + \gamma\vartheta}.$$

Die Berechnung dieser mittleren Temperatur lässt sich noch in einer anderen Weise etwas anschaulicher durchführen.

Von der Thermometerkugel, deren Temperatur τ sei, gehe ein stationärer Wärmestrom nach der Hülle von der Temperatur 0^0. Dann ist die Temperatur ϑ eines beliebig zwischen Thermometer und Hülle liegenden Lufttheilchens nur abhängig vom Abstand ϱ desselben vom Kugelmittelpunkt. Diese Abhängigkeit soll gefunden werden: 1. wenn die Wärmeleitungsconstante der Luft von der Temperatur abhängt:

$$k = k_0 + k_1\vartheta,$$

dann sei

$$\vartheta' = f(\varrho),$$

und 2. wenn k constant ist:

$$k = k_x,$$

dann sei

$$\vartheta'' = \varphi(\varrho).$$

Die Wärmemenge Q, welche in einer Secunde durch die Kugelfläche vom Radius ϱ hindurch geht, ist:

$$Q = -4\pi\varrho^2 . k . \frac{d\vartheta}{d\varrho}.$$

Für den stationären Zustand muss ϑ als Function von ϱ so bestimmt werden, dass Q von ϱ unabhängig wird.

Zur Bestimmung dieser Function hat man im ersten Falle:

$$\varrho^2 . (k_0 + k_1\vartheta) \frac{d\vartheta'}{d\varrho} = \text{const.},$$

und im zweiten Falle:

$$\varrho^2 k_x \frac{d\vartheta''}{d\varrho} = \text{const.}$$

Die Integration dieser Gleichungen liefert, wenn die Grenzbedingungen berücksichtigt werden:

$$\vartheta' = \vartheta'' = \tau \quad \text{für} \quad \varrho = r$$
$$\vartheta' = \vartheta'' = 0 \quad \text{für} \quad \varrho = R,$$

im ersten Falle:

$$\frac{r}{R-r}\left(\frac{R}{\varrho} - 1\right)\left(k_0 \tau + \frac{k_1}{2}\tau^2\right) = k_0 \vartheta' + \frac{k_1}{2}\vartheta'^2$$

und im zweiten Falle:

$$\frac{r}{R-r}\left(\frac{R}{\varrho} - 1\right)\tau = \vartheta''.$$

Es soll jetzt in der Gleichung:

$$k_x = k_0 + k_1 \vartheta'$$

ϑ' so durch τ ausgedrückt werden, dass in *beiden* Fällen in einer Secunde *gleich viel* Wärme abgegeben wird. Für jeden Werth von ϱ muss also sein:

$$k_x \frac{d\vartheta''}{d\varrho} = (k_0 + k_1 \vartheta') \frac{d\vartheta'}{d\varrho}.$$

Auf der Strecke zwischen Thermometer und Hülle nimmt im ersten Falle die Leitungsfähigkeit von k_τ bis k_0 stetig ab und wird daher an einer Stelle auch den gesuchten mittleren Werth k_x erreichen. An dieser Stelle muss dann nothwendig in beiden Fällen auch dasselbe Temperaturgefälle herrschen, nämlich es muss sein:

$$\frac{d\vartheta''}{d\varrho} = \frac{d\vartheta'}{d\varrho}$$

oder

$$-\frac{\tau r}{R-r}\frac{R}{\varrho^2} = -\frac{\tau r}{R-r}\frac{R}{\varrho^2}\frac{k_0 + k_1 \frac{\tau}{2}}{k_0 + k_1 \vartheta'}.$$

Diese Gleichung wird nur dann erfüllt, wenn die Temperatur ϑ' an dieser Stelle ist:

$$\vartheta' = \frac{\tau}{2}.$$

Setzt man daher

$$k_x = k_o + k_1 \cdot \frac{\tau}{2} = k_{\frac{\tau}{2}}.$$

so wird im zweiten Falle in einer Secunde ebensoviel Wärme abgegeben, als im ersten Fall durch die Kugelfläche von der Temperatur $\tau / 2$ hindurchgeht. Bei einem stationären Wärmestrom geht aber durch *jede* Schicht unabhängig vom Radius ϱ dieselbe Wärmemenge hindurch, also gilt allgemein: Beträgt die Temperatur des Thermometers τ^0, die der Hülle 0^0, und ist der Apparat mit einem Stoff gefüllt, dessen Wärmeleitungsfähigkeit linear von der Temperatur abhängt, so geht in einer Secunde ebensoviel Wärme vom Thermometer zur Hülle, wie wenn die Wärmeleitungsfähigkeit den constanten Werth $k\frac{\tau}{2}$ besitzen würde.

Liegen nun die Beobachtungen zwischen den Temperaturen τ_0 und τ_1 so ist $\tau = \frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_1)$ zu setzen und die aus dem Mittelwerth aller Beobachtungen gerechnete Wärmeleitungsconstante bezieht sich auf die Temperatur:

$$\vartheta = \frac{\tau_0 + \tau_1}{4}.$$

Bei der Berechnung der Wärmeleitungsconstante aus den Versuchen werden die Einflüsse der Strahlung und Glasleitung, wie schon in der Einleitung gesagt wurde, durch Differenzbeobachtungen eliminirt; d. h. es werden aus zwei passend gewählten Versuchsreihen die zugehörigen Abkühlungsconstanten berechnet (nach Gl. (2) p. 8) und die entsprechenden Werthe voneinander subtrahirt. Diese Differenz ist den Wärmeleitungsconstanten direct proportional und da der Temperaturcoefficient der Wärmeleitung eine positive Grösse ist, so steht nach obigen Betrachtungen zu erwarten, dass auch diese Differenz mit steigender Temperatur zunimmt. Berechnet man jedoch aus einer Versuchsreihe für verschiedene Temperaturen eine Anzahl von Werthen für diese Differenz, so lehrt die Erfahrung, dass diese Grösse fast durchwegs innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler constant bleibt, ja dass sie sogar in einzelnen Fällen mit steigender Temperatur abnimmt. Es beweisen dies nicht nur meine eigenen Versuche, sondern auch die von Kundt u. Warburg und Graetz. Allerdings ist die Zunahme, welche man erwarten sollte, sehr klein und liegt häufig im Bereiche der Beobachtungsfehler; ausserdem nimmt der Wasserwerth des Thermometergefässes mit steigenden Temperaturen zu und wirkt dadurch verkleinernd auf die

Abkühlungsconstante, und würden die Gase bei höheren Temperaturen, soweit sie hier in Betracht kommen, Wärmestrahlen absorbiren, so würde dies ebenfalls dazu beitragen, eine Abnahme der Abkühlungsconstante mit steigenden Temperaturen hervorzurufen. Dass diese beiden Umstände jedoch die Erscheinung nicht zu erklären vermögen, geht aus den Graetz-schen Versuchen hervor. Es kommt nämlich dort einige Male vor, dass die in Frage stehende Differenz der Abkühlungsconstanten sowohl von 20° bis 60° als auch von 120° bis 160° im Abnehmen begriffen ist, dennoch sind aber die Werthe für die hohen Temperaturen grösser, als die für die niederen Temperaturen. Es erfolgt also in den fraglichen Fällen die Abnahme der von den Einflüssen der Strahlung und Glasleitung befreiten Abkühlungsconstante nicht mit steigenden *absoluten Temperaturen*, sondern mit Zunahme der *Differenz der Temperaturen* des Thermometers und der Hülle.

Bei der Erkärung dieser Erscheinung werden wohl die Beobachtungsfehler eine grosse Rolle spielen, dass diese jedoch nicht allein genügen, geht schon daraus hervor, dass von allen Versuchen (mit Glasapparaten) etwa $^2/_3$ einen negativen und nur $^1/_3$ einen positiven Werth für den Temperaturcoefficienten der in Rede stehenden Abkühlungsconstante ergeben. Bei einer ganzen Anzahl von Fällen, etwa $^2/_3$ von allen vorhandenen, liegt dieser Coefficient im Bereiche der Fehlergrenzen und es bleiben nur zwei Messungen übrig, welche einen ausgesprochen positiven Temperaturcoefficienten ergeben haben. Fast alle Beobachtungen dagegen, welche über 100° lagen, lieferten für diese Grösse deutlich einen negativen Werth. Ich werde später auf diesen Punkt noch einmal zu sprechen kommen.

Bei der Berechnung der Wärmeleitungsconstante bestimmten Kundt u. Warburg und Graetz zuerst den Wert einer jeden Abkühlungsconstante für die Temperatur 0° und eliminirten dann durch Subtraction der betreffenden reducirten Werthe die Einflüsse der Wärmestrahlung und Glasleitung. Ich habe dagegen diese Subtraction zuerst vorgenommen und zwar von Grad zu Grad und dann diese Differenz auf 0° reducirt. Das Resultat ist offenbar in beiden Fällen dasselbe, nur kann man bei meiner Berechnungsweise die oben beschriebenen Erscheinungen erkennen, während dies bei der früheren nicht

möglich war. Da nun bei fast allen meinen Versuchen der Temperaturcoefficient dieser Differenz so klein war, dass er sich durch Beobachtungsfehler vollständig erklären liess, so setzte ich denselben in allen diesen Fällen gleich 0 und führte das arithmetische Mittel aus allen Einzelwerthen in die Rechnung ein. Nach der auf p. 9 u. f. ausgeführten Berechnung müsste sich das so gefundene Resultat auf die Temperatur $\vartheta = (\tau_0 + \tau_1)/4$ beziehen, da aber, wie aus vielen Versuchen hervorgeht, die erwartete Zunahme der in Rede stehenden Differenz mit steigender Temperatur nicht durch Beobachtungsfehler verdeckt, sondern durch noch unbekannte Einflüsse aufgehoben zu sein scheint, so setzte ich in diesen Fällen $\vartheta = 0^0$.

Anordnung der Versuche.

Zur Erreichung der bei meinen Versuchen erforderlichen Grade der Verdünnung der Gase diente mir eine Geissler'sche Luftpumpe mit zwei Hähnen, welche durch zwei grosse Kundt'sche Glasfedern einerseits mit dem Apparat, andererseits mit einer Anzahl von Trockenröhren verbunden war. Bevor Luft in den Apparat eindringen konnte musste dieselbe zuerst durch ein Gefäss mit concentrirter Kalilauge gehen und dann in 5 Röhren von je 50 cm Länge zuerst dreimal über concentrirte Schwefelsäure, deren Oberfläche durch Glasperlen vergrössert wurde, und zuletzt zweimal über trockenes Phosphorsäureanhydrid streichen.

Vor jedem Versuche wurde der Apparat zuerst auf etwa 100° erhitzt und dann mehrmals evacuirt und mit trockener Luft gefüllt, wobei die Temperatur immer auf 100° erhalten wurde. Zeigte schliesslich das Manometer den gewünschten Druck an, so wurde der Apparat sofort in ein Bad von 0° Temperatur gebracht, in welchem die Abkühlungszeit in verschiedenen Intervallen, die zwischen 70° und 8° lagen von Grad zu Grad gemessen wurde. An diesem Gefäss (Fig. 2) befand sich ein langer schmaler Spiegel, welcher neben die Themometerscala zu stehen kam und zur Vermeidung der Parallaxe beim Ablesen diente. Bei meinen Versuchen hat sich nun gezeigt, dass auf die Herstellung dieses Bades von der constanten Temperatur 0° sehr grosse Sorgfalt verwendet werden muss. Es soll die Oberfläche eines sich abkühlenden

Körpers auf 0° erhalten werden; dies kann aber nur dann erreicht werden, wenn in jedem Augenblick neue Eis- und Wassertheilchen von 0° Temperatur mit der Oberfläche des Apparates in Berührung gebracht werden. Um dies zu erreichen stellte ich das Bad aus einem Gemisch von gleichen Volumentheilen Wasser und fein zertheiltem Eis her und umgab den Apparat mit vier vertical stehenden Schaufeln, welche durch einen Electromotor gedreht wurden. Von meinem Beobachtungsplatz aus konnte ich sowohl den Motor in Bewegung setzen, als auch seine Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen durch Veränderung des vorgeschalteten Widerstandes reguliren. Ich hatte zwei Systeme von Schaufeln in Verwendung, welche sich der verschiedenen Grösse der Hüllen anpassten und welche so gebogen waren, dass bei der Drehung stets das feste, sich nach oben schiebende Eis nach unten gedrängt wurde. Bei dieser Einrichtung darf aber nur *sehr* fein zertheiltes Eis in Anwendung kommen. Nach mehreren vergeblichen Versuchen, solches Eis herzustellen, gelang mir dies endlich mit Hilfe einer gewöhnlichen grösseren Mandelreibmaschine, welche mir in etwa einer Viertelstunde aus klein gestossenem Eis genügend viel Schnee lieferte, um eine ganze Versuchsreihe durchführen zu können. Da sich der Rührapparat in einem doppelwandigen Gefäss befand, welches aussen und innen sehr blank verzinnt und dessen Zwischenraum zwischen der äusseren und inneren Wandung mit Sägespähnen ausgefüllt war, so behielt ein solches Gemisch von Eis und Wasser mehrere Stunden lang die constante Temperatur 0°. Das zugesetzte Wasser braucht natürlich einige Zeit, um sich auf 0° abzukühlen, es wurde daher der Rührapparat mit dem fertigen Bade jedesmal schon 10 Min. vor Beginn des Versuches in Thätigkeit gesetzt.

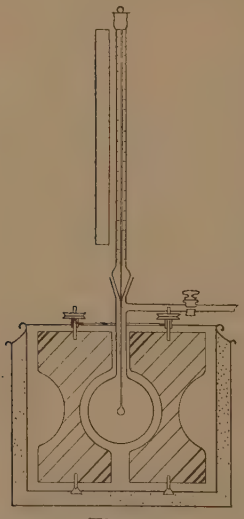

Fig. 2.

Um den Einfluss dieses sorgfältig bereiteten Kühlungsbades genau zu erkennen, habe ich die in demselben gemessene

Abkühlungszeit des Glasapparates zwischen 18^0 und 8^0 mit der verglichen, welche ich erhielt, wenn ich den Apparat in trockenes Eis verpackte. Ich fand in dem letzteren Falle eine um $3\,^0/_0$ grössere Abkühlungszeit.

An dieser Stelle will ich auch gleich darauf aufmerksam machen, dass man durchaus nicht von vornherein die Temperatur bestimmen kann, von welcher ab die Beobachtungen beginnen, bez. gelten dürfen; das hängt ganz von der Zeit ab, welche die Hülle braucht, um die Temperatur des Bades anzunehmen. Je nach der Grösse des Wasserwerthes der Hülle und des Thermometers wird sich der Stand des letzteren nach dieser Zeit richten und erst von hier ab können die beobachteten Werthe auf Richtigkeit Anspruch haben.

Von vorn herein erscheint es nun ziemlich schwer, diesen Zeitpunkt, bzw. diese Temperatur des Thermometers zu bestimmen; man hat jedoch in der Berechnung der Abkühlungsconstante des Apparates ein sehr gutes Mittel an der Hand, diesen Punkt mit genügender Genauigkeit zu finden. Die Abkühlungsconstante v wächst mit steigender Temperatur, allein nur bis zu einer bestimmten Grenze τ'; für noch grössere Werthe von τ nimmt v dann wieder ab. Da in Gleichung (2) p. 8 nur im Nenner eine beobachtete Grösse vorkommt, so ist anzunehmen, dass die Zeit t für Werthe, die grösser als τ' sind, zu gross gemessen ist, und zwar deshalb, weil diese Gleichung als Temperatur der Oberfläche des Apparates 0^0 voraussetzt, während dieselbe hier noch nicht so weit gefallen ist. Bei meinen Versuchen mit dem Glasapparat konnte ich die Beobachtungen, die zwischen 60^0 und 50^0 lagen, zum Theil aus diesem Grunde nicht benutzen. Schon im Jahre 1891 machte Hr. Winkelmann darauf aufmerksam, dass bei seinen Beobachtungen immer für die grössten Werthe von τ die Abkühlungsconstante v zu klein gefunden wurde, eine Erscheinung, die sich übrigens auch schon bei seinen früheren Messungen findet. Er suchte jedoch die Ursache hierfür in einem Fehler des Thermometers. Ich habe deshalb zur Begründung meiner Erklärung besondere Versuche angestellt, indem ich die Abkühlungszeit t des Glasapparates im Eis zwischen 18^0 und 8^0 gemessen habe, nachdem ich den ganzen

Apparat in Bädern von verschiedener Temperatur ϑ erwärmt hatte. Ich erhielt folgende Tabelle:

ϑ	t
100°	195 sec.
70	195
30	195
25	197
22	200

Je grösser ϑ ist, umso mehr Zeit vergeht, bis das Thermometer die Temperatur 18° erreicht und die Messung ihren Anfang nimmt und um so sicherer wird dann die Hülle die Temperatur 0° besitzen. Man sieht daher aus dieser Tabelle deutlich, dass ϑ nicht kleiner, als bis zu einer bestimmten Grenze gewählt werden darf, wenn man für t einen sicheren Werth erhalten will.

Zur Ablesung der Zeiten t wurde mir durch die besondere Güte des Hrn. Prof. Dr. Seeliger von der Kgl. Sternwarte in München ein Hipp'scher Chronograph zur Verfügung gestellt, wofür ich dem Hrn. Prof. Dr. Seeliger zu grossem Danke verbunden bin. Die Sekundencontacte lieferte eine einfache Uhr, welche vor jeder Messung mit einer Normaluhr verglichen wurde.

Durch diese sorgfältige Anordnung der Versuche wurde ich in den Stand gesetzt, meine ganze Aufmerksamkeit während einer Messung nur auf das Thermometer richten zu können; ich erreichte auf diese Weise, dass ich die Grösse v_1, welche die Abhängigkeit der Abkühlungsconstante von der Temperatur darstellt, mit grösserer Genauigkeit finden konnte, als dies bisher möglich war.

Versuche mit dem Metallapparat.

Beschreibung des Apparates.

Der bei den Versuchen, welche in diesem Abschnitt beschrieben werden, in Anwendung gebrachte Apparat war im Wesentlichen den von Winkelmann zuletzt benutzten Apparaten nachgebildet und erhielt die in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellte Kugelgestalt.

Das Thermometer, welches über die Temperaturen der blank polirten Aluminiumkugel B berichten soll, war aus

Jenaer Thermometer-Normalglas von der Firma R. Ebermeyer in München mit grosser Sorgfalt hergestellt worden. Dasselbe endigte in ein cylindrisches Thermometergefäss *A*, welches durch das Messinggewinde *M* mit der Kugel *B* verbunden werden konnte und war von —3° bis 100° in halbe Grade getheilt. Zur genauen Bestimmung des Gefrier- und Siedepunktes war in der Nähe dieser Punkte die Theilung der Scala in Zehntelgrade ausgeführt. Eine Prüfung des Thermometers ergab indessen, dass die Anbringung einer

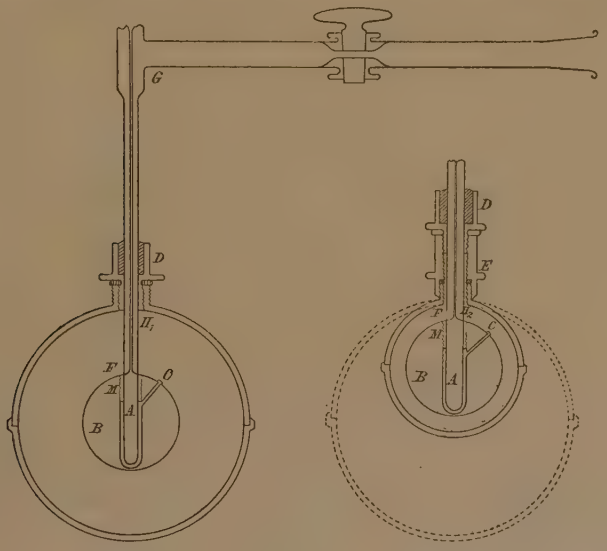

Fig. 3.

Fig. 4.

Correction in Bezug auf die Theilung überflüssig war. Anfangs hatte ich an Stelle der Aluminiumkugel eine Kupferkugel in Verwendung, deren Oberfläche, entsprechend den Winkelmann'schen Versuchen vergoldet war. Allein dieselbe erwies sich infolge ihres grossen Wasserwerthes für Beobachtungen in einem grossen Temperaturintervall als sehr unpraktisch. Aluminium bietet ausser seinem geringen Wasserwerth noch den Vorzug vor anderen Metallen, dass es infolge seines geringen specifischen Gewichtes die Stabilität des Apparates bedeutend vergrössert.

Der Zwischenraum zwischen Thermometer und Aluminium-

kugel wurde durch Quecksilber ausgefüllt, wobei das überflüssige Quecksilber durch die capillare Bohrung *C*, welche schliesslich durch einen kleinen Aluminiumzapfen verschlossen wurde, entweichen konnte. Die Hüllen wurden aus Messingblech von 1,75 mm Dicke gedrückt und innen gut vergoldet. Sie bestanden aus je zwei Hälften, welche bei den Versuchen zusammengesteckt und verlöthet wurden.

Das Thermometer trug in *D* ein zweites luftdicht aufgekittetes Gewinde, durch welches die grosse Hülle concentrisch zur Kugel *B* befestigt werden konnte (Fig. 3). Das Verlängerungsglied *E* (Fig. 4) diente dazu auch die kleine Hülle concentrisch zur Kugel *B* anzuschrauben, und war so construirt, dass es auch mit der grossen Hülle verbunden werden konnte. Ich erreichte dadurch, dass ich dieselbe excentrisch zur Kugel *B* anbringen konnte, jedoch so, dass die Länge des Thermometerstieles, entsprechend den letzten Winkelmann'schen Versuchen im Innern des Apparates ebenso gross wurde, wie bei Anwendung der kleinen Hülle.

Dichtungrsinge aus Blei stellten den luftdichten Abschluss der Gewinde her.

Eine weitere Aenderung an dem Winkelmann'schen Apparat besteht schliesslich noch darin, dass ich an Stelle des Rohres, welches Winkelmann zum Füllen des Apparates anwandte, das Thermometer als Zuleitungsrohr benutzte. Diesen Vortheil konnte ich dadurch erreichen, dass ich in *F* am Thermometer eine kleine Oeffnung, in *G* ein mit Glashahn versehenes Zuleitungsrohr anbringen liess.

Der Durchmesser des Thermometerstieles innerhalb des Apparates betrug 5 mm.

Das Gewicht des im Thermometer enthaltenen Quecksilbers habe ich bei der Herstellung des Apparates gefunden. Das Gewicht des Glases wurde dann aus dem Volumen des ganzen Thermometergefässes berechnet. Es konnte somit der Wasserwerth der ganzen Kugel mit grosser Genauigkeit bestimmt werden. Derselbe ergab sich aus folgenden Grössen:

Gewicht des Aluminium	35,837 g
„ „ gesammten Quecksilbers	5,297 g
„ „ Messinggewindes	0,696 g
„ „ Glases (gerechnet)	0,333 g

Wärmecapacität des	Aluminium	0,2143
„	„ Quecksilbers	0,0333
„	„ Messing	0,086
„	„ Normalglases[1])	0,1988

Aus diesen Grössen findet man den Wasserwerth der Kugel:

$$w = 7,\ 9812.$$

Die genaue Bestimmung der Kugelradien liefert:

Radius der Aluminiumkugel	$r = 1{,}438$ cm
„ „ grossen Hülle	$R_1 = 3{,}533$ cm
„ „ kleinen Hülle	$R_2 = 2{,}012$ cm

Um die Kugel sicher centriren zu können, war auf der Aluminiumkugel der Aequator leicht angedeutet. Während der Kitt (Bleiglättekitt), welcher das Gewinde D mit dem Glase verbinden sollte, noch feucht war, wurde die Aluminiumkugel mit dem Thermometer, das Gewinde D mit der oberen Hälfte der grossen Hülle verbunden. Nun wurde dieser ganze Apparat auf eine horizontale und mit concentrischen Ringen versehene Scheibe gestellt, welche einen Ausschnitt hatte, in welchen die Aluminiumkugel gerade hineinpasste. Das Thermometer wurde jetzt genau vertical gestellt, und an einem Stativ so weit herabgesenkt, dass der Aequator der Kugel mit der Ebene der Scheibe zusammenfiel. War zuletzt an der Lage der concentrischen Kreise auf der Scheibe zu ersehen, dass die Hülle zur Kugel concentrisch stand, so liess ich den Kitt erstarren.

Wie aus Fig. 4 hervorgeht, nähert sich in H_2 die Hülle dem Thermometerstiel bis auf weniger als 1 mm. Es wird also die Temperatur des Stieles an dieser Stelle während des ganzen Versuches sehr wenig von 0° verschieden sein; in Fig. 3 hat der Stiel im Punkte H_1 sicher die Temperatur 0°. Aus der Betrachtung auf p. 7 und 8 folgt also, dass bei den Versuchen mit dem Metallapparat g' stets zu vernachlässigen ist.

1) Winkelmann. Wied. Ann. **49.** p. 406. 1893.

Erste Methode der Untersuchung.

Die auf p. 7 zur Bestimmung von k angegebene Gleichung (1) erhält für den Metallapparat die Form:

$$w \cdot v = k \cdot \frac{4\pi R r}{R - r} + \sigma 4\pi r^2 + g.$$

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, eliminirte Winkelmann die Strahlung, indem er das Thermometer mit Hüllen von verschiedenem Radius umgab und jedesmal die Abkühlungsconstante bestimmte. Um nun mit σ zugleich auch g beseitigen zu können, verfuhr ich mit meinem Kugelapparat ebenso, wie Winkelmann im Jahre 1891 mit seinem Cylinderapparat, indem ich, wie in Fig. 4 angegeben ist, der kleinen Hülle (R_2) eine zur Aluminiumkugel concentrische, der grossen Hülle (R_1) eine excentrische Lage gab. In diesem letzteren Falle tritt aber als Coefficient von k eine unbekannte Function $f(R_1 r)$ auf, welche schliesslich dadurch eliminirt wird, dass die Versuche, welche mit Luft angestellt wurden, mit einem anderen Gas von der Wärmeleitungsfähigkeit k' wiederholt werden. Es ergeben sich folgende Gleichungen:

$$w \cdot v_1 = k \cdot f(R_1 r) + \sigma 4\pi r^2 + g$$

$$w \cdot v_2 = k \cdot \frac{4\pi R_2 r}{R_2 - r} + \sigma 4\pi r^2 + g$$

$$w \cdot v_1' = k' \cdot f(R_1 r) + \sigma 4\pi r^2 + g$$

$$w \cdot v_2' = k' \cdot \frac{4\pi R_2 r}{R_2 - r} + \sigma 4\pi r^2 + g.$$

Die Bedeutung der Grössen v_1, v_2, v_1', v_2' ist leicht zu ersehen. Aus diesen 4 Gleichungen findet man k in folgender Form:

$$k = \frac{w \cdot (R_2 - r_1)}{4\pi R_2 r} \cdot \frac{(v_2' - v_2)\ (v_2 - v_1)}{(v_2' - v_1') - (v_2 - v_1)}.$$

Hier muss noch eine Correction angebracht werden, weil ein Theil der Kugeloberfläche von dem Thermometerstiel eingenommen wird. Bedeutet ε [1]) den Querschnitt desselben, so ist:

$$(4) \qquad k = \frac{w \cdot (R_2 - r)}{4\pi R_2 r - \varepsilon} \cdot \frac{(v_2' - v_2)\ (v_2 - v_1)}{(v_2' - v_1') - (v_2 - v_1)}.$$

1) Vgl. Winkelmann, Wied. Ann. **44.** p. 450. 1891 und **48.** p. 186. 1893.

Als zweites Gas diente mir Wasserstoff, welcher aus gewöhnlichem Zink und Salzsäure hergestellt wurde; derselbe war also nicht chemisch rein, was auch bei der Berechnung nicht vorausgesetzt wird.

Die Beobachtungen.

In der folgenden Tabelle sind neben den Temperaturen in den ersten vier Columnen die zugehörigen Abkühlungszeiten mitgetheilt, welche gemessen wurden, wenn der Apparat mit Luft von 10 bis 20 mm Druck und Wasserstoff von 30 bis 40 mm Druck gefüllt war. Der immerhin noch grosse Wasserwerth der Aluminiumkugel gestattet es nicht, die Versuche auch auf Kohlensäure auszudehnen; schon für Luft musste aus diesem Grunde das Beobachtungsintervall verkleinert werden. Um aber dennoch einen Ueberblick über die Abnahme von $v \log e$ mit sinkender Temperatur zu gewinnen, habe ich für Luft die Abkühlungszeit zwischen 70° und 50° von Grad zu Grad und dann mit derselben Füllung die Abkühlungszeit von 30° bis 25° in Intervallen von halben Graden gemessen. Für Wasserstoff konnten die Versuche ohne Unterbrechung durchgeführt werden.

Tabelle I.

τ	Luft		Wasserstoff		$(v_2 - v_1)$ $\log e$	$(v_2' - v_1')$ $\log e$	$(v_2' - v_2)$ $\log e$
	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)			
70°	0	0	0	0			
69	38	22	7,5	4,2			
68	75	43,5	15,2	8,4			
67	113	66,5	23,3	13,0			
66	151	89	31,4	17,3			
65	191	110	39,2	21,5	0,000 124	0,000 675	0,001 203
64	231	135,5	47,8	26,2			
63	272	159	56,4	31,1			
62	314	184	65,0	35,6			
61	356	208,5	74,5	40,4			
60	399	233,5	83,5	45,3	0,000 114	0,000 677	0,001 179
59	443	259	93,0	50,4			
58	489	286	102,9	55,7			
57	534	313	112,8	61,0			
56	584	340,5	122,3	66,3			
55	630	369	133,3	71,8	0,000 115	0,000 668	0,001 147

τ	Luft		Wasserstoff		$(v_2 - v_1)$ log e	$(v_2' - {}_1')$ log e	$(v_2' - v_2)$ log e
	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)			
54	682	399	144,4	77,5			
53	734	429	155,6	83,3			
52	785	460	167,7	89,2			
51	840	491	179,6	95,4			
50	895	523	192,0	101,7	0,000 113	0,000 680	0,001 116
49			205,0	108,4			
48			217,3	114,8			
47			231,2	121,5			
46			244,7	128,9			
45			259,7	135,8		0,000 664	
44			274,2	143,0			
43			289,5	150,4			
42			305,0	158,0			
41			320,7	165,7			
40			337,0	173,9		0,000 679	
39			353,4	181,5			
38			370,5	189,9			
37			388,1	198,2			
36			405,3	206,8			
35			425,0	215,2		0,000 742	
34			445,0	224,6			
33			465,7	234,0			
32			486,8	243,9			
31			509,4	254,1			
30	0	0	532,0	264,5		0,000 729	
29,5	46	27	—	270,2			
29	93	56	556,0	275,3			
28,5	141	81	—	280,8			
28	190	110	581,2	286,4			
27,5	239	139	—	292,1			
27	290	168	607,5	298,1			
26,5	342	199	—	304,4			
26	395	230	635,2	310,3			
25,5	449	260	—	316,2			
25	503	291	664,1	322,8	0,000 114	0,000 758	0,001 084

Die in der Tabelle enthaltenen Abkühlungszeiten sind Mittelwerthe aus je zwei bis drei Messungen und sind bis auf 0,2 Proc. genau.

Berechnet man aus diesen Zahlen die Abkühlungsconstante, indem man in Gleichung (3) p. 8 nach der Methode der kleinsten Quadrate v_0 und v_1 bestimmt, so erhält man:

$$v_1 \log e = 0{,}000149 + 0{,}00000036\,\tau$$
$$v_2 \log e = 0{,}000266 + 0{,}00000033\,\tau$$
$$v_1' \log e = 0{,}000454 + 0{,}00000512\,\tau$$
$$v_2' \log e = 0{,}001248 + 0{,}00000313\,\tau$$

Um zugleich eine Uebersicht über die Grenzen der Beobachtungsfehler herzustellen, habe ich dieses Resultat in Fig. 5 graphisch dargestellt, indem ich die aus den Abkühlungszeiten des Apparates von 5 zu 5 Grad gerechneten Abkühlungsconstanten als Ordinaten, die Temperaturen als Abscissen eingetragen habe.

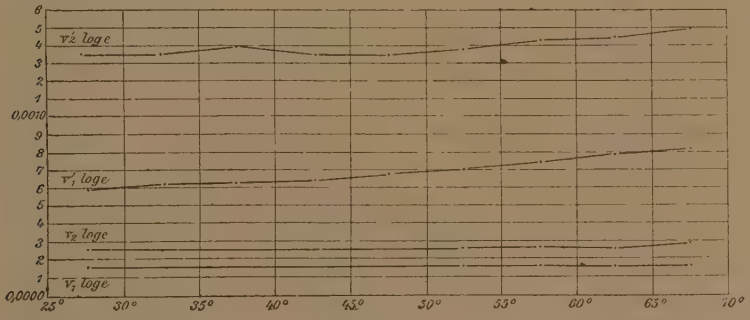

Fig. 5.

Die sich aus Fig. 5 ergebenden Zahlenwerthe für $(v_2 - v_1) \log e$, $(v_2' - v_1') \log e$ und $(v_2' - v_2) \log e$ sind in den drei letzten Columnen der Tabelle I enthalten.

Man sieht hier deutlich, dass die in Rechnung kommenden Differenzen $(v_2 - v_1) \log e$ und $(v_2' - v_1') \log e$ mit steigender Temperatur nicht zunehmen; $(v_2 - v_1) \log e$ ist als constant zu betrachten, während $(v_2' - v_1') \log e$ mit steigender Temperatur abnimmt. Die Differenz $(v_2' - v_2) \log e$ nimmt dagegen mit steigender Temperatur ziemlich stark zu. Da die Wärmeleitungsconstante des Wasserstoffs ungefähr 7 Mal so gross ist als die der Luft, der Temperaturcoefficient γ der Wärmeleitung, wie er auf p. 9 angegeben ist, für Luft und Wasserstoff nahezu gleich ist, so wäre zu erwarten gewesen, dass die Zunahme von $(v_2' - v_1') \log e$ mit steigender Temperatur positiv und 7 Mal so gross sei als die Zunahme von $(v_2 - v_1) \log e$. Das Verhalten der Grösse $(v_2' - v_2) \log e$ entspricht ungefähr der Erwartung. Was nun die beiden anderen Differenzen be-

trifft, so möchte ich nicht entscheiden, ob das Verhalten derselben auf Beobachtungsfehler zurückzuführen ist, oder nicht. Es bieten derartige Versuche mit Metallapparaten bei so hohen Temperaturen, namentlich, was das Dichthalten derselben betrifft, sehr grosse Schwierigkeiten und ich konnte stets erst nach mehreren vergeblichen Bemühungen ein paar übereinstimmende Versuchsreihen erhalten. Ich lege deshalb auch meinen Versuchen mit dem Metallapparat nicht die Bedeutung bei, wie denen mit dem Glasapparat. Bei den Versuchen des Hrn. Winkelmann, welcher seine Beobachtungen bei niedrigen Temperaturen auf ein Intervall von nur wenigen Graden ausdehnte, fiel ein grosser Theil dieser Schwierigkeit weg.

Als Resultat dieser Untersuchungen ist anzugeben, dass ich nach dieser Methode sehr verschiedene Werthe für die Wärmeleitungsconstante k erhalte, je nachdem ich für hohe oder für niedere Temperaturen die Grössen $v \cdot \log e$ bestimme.

Die von Grad zu Grad berechnete Abkühlungsconstante habe ich dazu benutzt, die Abhängigkeit des nach Gleichung (4) bestimmten k von der Temperatur τ zu finden, bei welcher die Beobachtungen liegen. Ich nahm dabei für $(v_2 - v_1)\log e$ den Mittelwerth aus allen Messungen; die Abhängigkeit von $(v_2' - v_1')\log e$ und $(v_2' - v_2)\log e$ von der Temperatur stellte ich durch eine lineare, bez. durch eine quadratische Function dar. Es ergab sich[1]):

$$^*(v_2 - v_1)\log e = 0{,}000114$$

$$^*(v_2' - v_1')\log e = 0{,}000781 + 0{,}00000196\,\tau$$

$$^*(v_2' - v_2)\log e = 0{,}001175 - 0{,}00000603\,\tau + 0{,}0000000905\,\tau^2.$$

Aus diesen Werthen und aus den auf p. 19 mitgetheilten Constanten des Apparates findet man:

$$k = 0{,}000058596 - 0{,}00000012803\,\tau + 0{,}0000000041403\,\tau^2.$$

Obgleich hier der Coefficient von τ negativ ist, so nimmt k doch schon von 15,5° an zu.

Dieses Resultat ist mit den letzten Winkelmann'schen Resultaten vergleichbar, wenn ich für τ die mittlere Temperatur setze, bei welcher die Winkelmann'schen Versuche liegen (12°) und diesen Werth mit den nicht auf 0° reducirten Re-

1) Hier und im Folgenden bedeutet ein *, dass die Ungenauigkeit im Gange der Uhr berücksichtigt ist.

sultaten von Winkelmann zusammenstelle. Es ergiebt sich aus meinen Versuchen:

$$k = 0{,}00005766$$

und aus den Versuchen von Winkelmann:

1891	Cylind. App. II (ber. von Kutta)	$k = 0{,}00005713$	2. Gas H
1891	„ „ IV („ „ „)	$k = 0{,}00005845$	
1893	Kugelapparat	$k = 0{,}00005827$	
1893	„	$k = 0{,}00005668$	2. Gas CO_2.

Da meine Versuche mit dem Metallapparat, wie schon erwähnt, nicht so zuverlässig sind, wie die Winkelmann'schen, so ist der guten Uebereinstimmung dieser Resultate wohl nicht die Bedeutung beizulegen, die man ihr sonst zuschreiben würde.

Zweite Methode der Untersuchung.

Mehr, um zu zeigen, wie gross der Einfluss der Glasleitung auf das Resultat werden kann, als um das von Winkelmann im Jahre 1875 benutzte Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitungsconstante der Luft zu wiederholen, umgab ich, wie in Fig. 3, p. 17 angegeben ist, das Thermometer einmal mit der grossen Hülle (R_1) und dann mit der kleinen Hülle (R_2), jedesmal concentrisch zur Aluminiumkugel und bestimmte in beiden Fällen die Abkühlungsconstante des Apparates. Es ergeben sich dann die Gleichungen:

$$w \,.\, v_1 = k \,.\, \frac{4\pi R_1 r}{R_1 - r} + \sigma\, 4\pi r^2 + g_1\,,$$

$$w \,.\, v_2 = k \,.\, \frac{4\pi R_2 r}{R_2 - r} + \sigma\, 4\pi r^2 + g_2\,,$$

folglich:

$$w \,.\, (v_2 - v_1) = k \,.\, \frac{4\pi r^2 (R_1 - R_2)}{(R_1 - r)(R_2 - r)} + (g_2 - g_1).$$

Will man aus dieser Gleichung k finden, so muss die Grösse $(g_2 - g_1)$ vernachlässigt werden. Man erhält dann:

$$(5) \qquad k = \frac{w \,.\, (R_1 - r)(R_2 - r)}{4\pi r^2 (R_1 - R_2)} \,.\, (v_2 - v_1).$$

Bei Anwendung der grossen Hülle ist aber das Verbindungsstück der Aluminiumkugel mit der Wandung viermal so lang, als bei Anwendung der kleinen Hülle; es folgt hieraus, dass $(g_2 - g_1)$ eine positive Grösse ist. Durch Vernachlässigung derselben kann also das Resultat nur zu gross ausfallen.

Die Beobachtungen.

Ebenso wie bei den vorigen Versuchen wurden auch hier die Abkühlungszeiten des Thermometers von 70°—50° von Grad zu Grad und von 30°—25° in Intervallen von halben Graden gemessen, wenn der Apparat mit Luft von 10 mm bis 20 mm Druck gefüllt war. In Tab. II sind wieder die Mittelwerthe der Abkühlungszeiten aus je zwei Versuchsreihen mitgetheilt, welche unter sich um 0,2 Proc. von einander abweichen. Die letzte Columne enthält die von 5 zu 5 Grad gerechneten Differenzen $(v_2 - v_1) . \log e$.

Tabelle II.

τ	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)	$(v_2 - v_1) \log e$
70°	0	0	
69	41	22	
68	83	43,5	
67	124	66,5	
66	168	89	
65	211	110	0,000 140
64	256	135,5	
63	302	159	
62	349	184	
61	399	208,5	
60	447	233,5	0,000 133
59	497	259	
58	548	286	
57	601	313	
56	656	340,5	
55	709	369	0,000 135
54	768	399	
53	827	429	
52	888	460	
51	949	491	
50	1013	523	0,000 132
30	0	0	
29,5	53	27	
29	110	56	
28,5	162	81	
28	220	110	
27,5	276	139	
27	335	168	
26,5	395	199	
26	456	230	
25,5	518	260	
25	581	291	0,000 136

Da die Differenz $(v_2 - v_1)\log e$ mit steigender Temperatur weder eine Zu- noch eine Abnahme erkennen lässt, welche die Grenze der Beobachtungsfehler überschreitet, so führte ich für diese Grösse in Gleichung (5) einen Mittelwerth ein, welcher aus dem ganzen zur Verfügung stehenden Zahlenmaterial erhalten wurde. Ich fand:

$$^*(v_2 - v_1)\log e = 0{,}0001334$$

und für die Wärmeleitungsconstante der Luft:

$$k = 0{,}00007459.$$

Dieses Resultat ist bedeutend grösser als das, welches die Winkelmann'schen Versuche aus dem Jahre 1875 ergaben; damals wurde:

$$k = 0{,}0000525$$

gefunden. Winkelmann gab jedoch im Jahre 1891 selbst die Mängel an, welche seinen damaligen Versuchen anhaften; besonders der Umstand, dass der Wasserwerth des sich abkühlenden Cylinders damals zu klein angenommen wurde, erklärt hinreichend, dass das Resultat so klein ausfallen musste.

Das von mir gefundene Resultat will ich dazu benutzen, den Werth der vernachlässigten Grösse $(g_2 - g_1)$ zu finden. Nehme ich an, dass das Wärmeleitungsvermögen der Luft in Wirklichkeit $k = 0{,}000056$ ist, so ergiebt sich:

$$g_2 - g_1 = 0{,}0006110.$$

Versuche mit dem Glasapparat.

Beschreibung des Apparates.

Der zweite Apparat, welcher mir zur Bestimmung der Wärmeleitungsconstante der Luft dienen sollte, war vollständig aus Jenaer Thermometernormalglas hergestellt. Derselbe sollte mir gestatten, zur Elimination der Strahlung sowohl die Winkelmann'sche Methode als auch die Methode von Kundt und Warburg in Anwendung bringen zu können und erhielt die in Fig. 6 dargestellte Form.

Das Thermometer, dessen 38 cm lange Scala ebenso getheilt war, wie die des beim Metallapparat benutzten Thermometers, konnte durch einen Glasschliff in jede der beiden Hüllen R_1 und R_2 eingesetzt werden, wobei die Thermometerkugel stets concentrisch zur Hülle zu stehen kam. Der Stiel

des Thermometers bestand von der Quecksilberkugel *A* bis *B* aus einem ca. 9 cm langen Capillarrohr von 1 mm äusserem Durchmesser und erweiterte sich von hier ab etwas bis zu dem 15 cm über dem Thermometergefäss gelegenen Glasschliff. In *C* war der Stiel etwas erweitert, sodass später bei den Versuchen nach der Methode von Kundt und Warburg die eine Hülle mit dem Thermometer verschmolzen werden konnte. Der Stiel der Hüllen hatte 1 cm Durchmesser und besass in *D* ein mit Glashahn versehenes horizontales Ansatzrohr, welches mit der Pumpe durch einen Glasschliff verbunden wurde. Da es ferner

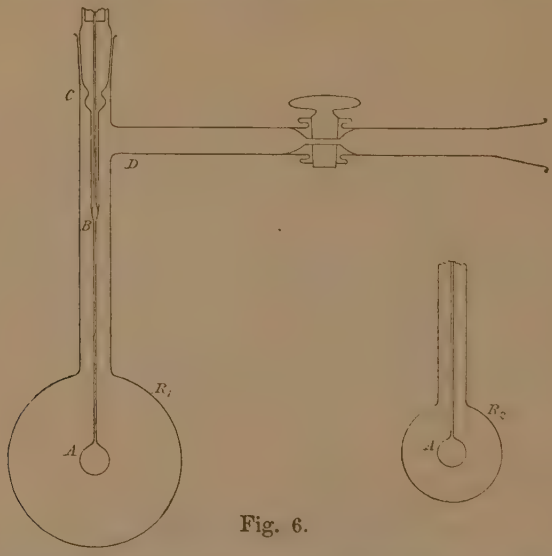

Fig. 6.

zum vollständigen Evacuiren des Apparates nothwendig war, denselben sehr weit zu erhitzen, so besass das Thermometer Stickstofffüllung und ausserdem war das Capillarrohr oben zu einer kleinen Cuvette aufgeblasen, sodass der ganze Apparat auf ungefähr 300° ohne Gefahr erhitzt werden konnte.

Die Firma R. Ebermayer in München, welcher ich die Ausführung dieses Apparates übertrug, hat die ihr gestellte Aufgabe, namentlich was die Theilung des Thermometers betrifft, sehr gut gelöst. Eine Prüfung des Thermometers ergab, dass an der Theilung desselben keine Correction nothwendig war.

Bei der Bestimmung des Wasserwerthes des Thermometergefässes ist es hier von viel grösserer Wichtigkeit als beim Metall-

apparat, dass die specifische Wärme des Thermometernormalglases durch genaue Untersuchungen von Winkelmann bekannt ist. Nach Zerschneiden des Thermometers ergab sich:

Gewicht des Quecksilbers: 2,190 g,
„ „ Glases: 0,380 g,
Wärmecapacität des Quecksilbers: 0,0333,
„ „ Glases: 0,1988.

Folglich findet man für den Wasserwerth der Kugel:

$$w = 0{,}1484.$$

Die genaue Bestimmung der in Rechnung kommenden Kugelradien ergab folgende Mittelwerthe:

Radius der grossen Hülle: $R_1 = 3{,}243$ cm,
„ „ kleinen Hülle: $R_2 = 1{,}693$ cm,
„ „ Thermometerkugel: $r = 0{,}457$ cm.

Erste Methode der Untersuchung.

Zunächst sollen mit diesem Apparat die Versuche wiederholt werden, welche zuletzt mit dem Metallapparat durchgeführt wurden. Hier gestalten sich die Gleichungen, aus denen k gefunden wird, etwas anders, weil jetzt die Glasleitung eine andere Rolle spielt. Bei allen Versuchen, welche mit dem Glasapparat angestellt werden, kommt die Grösse g' mit in Rechnung, welche von der Wärmemenge abhängt, die der Thermometerstiel durch Strahlung und Leitung der Luft abgiebt. Die zur Berechnung von k dienenden Gleichungen heissen:

$$w \cdot v_1 = k \cdot \frac{4\pi R_1 r}{R_1 - r} + \sigma \cdot 4\pi r^2 + g_1 + g_1',$$

$$w \cdot v_2 = k \cdot \frac{4\pi R_2 r}{R_2 - r} + \sigma \cdot 4\pi r^2 + g_2 + g_2'.$$

Hieraus folgt:

$$w \cdot (v_2 - v_1) = k \cdot \frac{4\pi r^2 (R_1 - R_2)}{(R_1 - r)(R_2 - r)} + (g_2 - g_1) + (g_2' - g_1').$$

Wie auf p. 8 angegeben ist, richtet sich der Werth von g nach der Länge des Thermometerstieles. Da derselbe aber beim Glasapparat stets dieselbe Länge behält, so ist hier:

$$g_2 - g_1 = 0.$$

Der Stiel der Hülle R_1 umschliesst den Thermometerstiel auf einer kürzeren Strecke, als der Stiel der Hülle R_2 und daraus folgt: $g_2' > g_1'$.

Vernachlässigt man dennoch die Grösse $(g_2' - g_1')$, so kann auch jetzt das Resultat nur zu gross ausfallen. Als Bestimmungsgleichung für k ergiebt sich dann wieder Gleichung (5):

$$k = \frac{w \cdot (R_1 - r)(R_2 - r)}{4\pi r^2 \cdot (R_1 - R_2)} (v_2 - v_1).$$

Die Beobachtungen.

Da sich der Glasapparat bedeutend schneller abkühlt als der Metallapparat, so konnten die Beobachtungen auf ein grösseres Temperaturintervall ausgedehnt werden. Es wurde die Abkühlungszeit des Thermometers von 60° bis 8° von Grad zu Grad gemessen. Dabei wurde die Luft bei den Drucken 5, 10 und 15 mm untersucht. Die gesammten Abkühlungszeiten wichen jetzt nur um 0,03 Proc. voneinander ab. Die zur Berechnung dienenden Mittelwerthe der gemessenen Zeiten sind in Tab. III enthalten.

Tabelle III.

τ	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)	$v_1 \log e$	$v_2 \log e$	$(v_2 - v_1) \log e$
60°	0	0			
	3,8	3,2	0,00 195	0,00 228	
	7,5	6,5	0,00 199	0,00 225	
	13,2	9,9	0,00 206	0,00 222	
	14,9	13,2	0,00 205	0,00 226	
55	18,8	16,7	0,00 205	0,00 224	0,000 25
	22,9	20,2	0,00 193	0,00 228	
	26,9	23,9	0,00 201	0,00 219	
	31,2	27,4	0,00 200	0,00 235	
	35,4	31,2	0,00 200	0,00 222	
50	39,7	34,9	0,00 201	0,00 231	0,000 29
	43,9	38,8			
	48,3	42,8			
	52,9	46,7			
	57,6	50,9			
45	62,3	55,1	0,00 202	0,00 226	0,000 24
	66,9	59,4			
	72,0	63,9			
	77,2	68,5			
	82,3	73,1			
40	87,6	77,9	0,00 202	0,00 224	0,000 22

τ	gr. Hülle (R_1)	kl. Hülle (R_2)	$v_1 \log e$	$v_2 \log e$	$(v_2 - v_1)\log e$
	93,3	83,0			
	99,2	88,2			
	103,3	93,7			
	111,5	99,3			
35	117,9	104,9	0,00 191	0,00 215	0,000 24
	124,3	110,8			
	131,5	116,7			
	137,9	122,9			
	145,2	129,3			
30	152,2	136,1	0,00 195	0,00 214	0,000 19
	160,1	142,9			
	168,1	149,8			
	176,3	157,1			
	184,7	164,9			
25	193,5	172,6	0,00 192	0,00 218	0,000 26
	202,7	180,8			
	212,0	189,3			
	222,3	198,4			
	233,0	208,1			
20	244,0	218,2	0,00 192	0,00 212	0,000 20
	255,1	228,3			
	268,0	239,3			
	281,3	251,1			
	295,0	263,7			
15	310,0	277,4	0,00 189	0,00 211	0,000 22
	326,1	291,7			
	343,0	307,5			
	362,5	324,4			
	383,0	342,8			
10	404,7	363,1	0,00 186	0,00 206	0,000 20
	429,7	385,3			
8	457,6	410,7			

Aus dieser Tabelle erkennt man auch aus dem Verhalten von $v_1 \log e$, dass bei Beginn des Versuches mit der grossen Hülle dieselbe noch nicht die Temperatur 0^0 angenommen hatte. Um sicher zu gehen, liess ich die Beobachtungen erst von 45^0 an gelten.

Auch bei diesen Beobachtungen ändert sich der Werth von $(v_2 - v_1)\log e$ nur innerhalb der Fehlergrenzen. Ich habe deshalb für diese Differenz das arithmetische Mittel aus allen von Grad zu Grad gerechneten Werthen in die Gleichung zur Bestimmung von k eingeführt. Ich fand:

$$^{*}(v_2 - v_1)\log e = 0{,}0\,002\,142$$

und folglich:

$$k = 0{,}00\,006\,196.$$

Trotzdem jede der mitgetheilten Abkühlungszeiten im Mittel auf 0,3 Secunden genau war, so zeigten dennoch die daraus berechneten Abkühlungsconstanten beträchtliche Schwankungen, welche auf das Resultat einen um so grösseren Einfluss ausüben, je weniger v_1 von v_2 verschieden ist. Die Differenz $(v_2 - v_1)\log e$ ist nun im vorliegenden Falle sehr klein und ferner sind die in Rechnung kommenden drei Kugelradien Mittelwerthe, deren Ungenauigkeit ebenfalls auf das Resultat wirkt. Aus allen diesen Umständen geht hervor, dass die nach dieser Methode bestimmte Wärmeleitungsconstante keinen grossen Anspruch auf Genauigkeit erheben darf.

Ebenso, wie früher beim Metallapparat, habe ich auch dieses Resultat dazu benutzt, die hier vernachlässigte Grösse $(g_2' - g_1')$ zu berechnen, wenn $k = 0{,}000\,056$ gesetzt wird. Ich fand:

$$(g_2' - g_1') = 0{,}000\,007\,052.$$

Man sieht hieraus, dass der Einfluss der Glasleitung bei den letzten Versuchen mit dem Metallapparat etwa 87 Mal so gross war, als beim Glasapparat; oder wenn man die Wärmemengen berechnet, welche in beiden Fällen durch Vernachlässigung der Glasleitung scheinbar zu viel durch die Luft geleitet wurden, wenn das Thermometer um 1^0 fällt, so findet man:

für den Metallapparat (II. Methode) $w_g = 1{,}9891$ cal.,

für den Glasapparat (I. Methode) $w_{g'} = 0{,}0143$ cal.

Werden diese Zahlen jedesmal von dem betreffenden Wasserwerth des Thermometergefässes subtrahirt und diese Differenzen in die Rechnung eingeführt, so erhält man in beiden Fällen $k = 0{,}000\,056$. Es ist hier w_g 139 mal so gross als $w_{g'}$.

Zweite Methode der Untersuchung.

Nachdem ich auf diese drei verschiedenen Weisen die Winkelmann'sche Methode zur Bestimmung der Wärmeleitungsconstante der Luft benutzt hatte, ohne zu einem zuverlässigen Resultat gelangt zu sein, wandte ich mich dazu, auch die Methode, welche im Jahre 1875 von Kundt und

Warburg und im Jahre 1881 von Graetz zur Bestimmung der Wärmeleitungsconstante der Luft verwendet wurde, von Neuem mit möglichster Sorgfalt auszuführen. Die Elimination der durch Strahlung abgegebenen Wärme wird jetzt dadurch erreicht, dass die Abkühlungsconstante des Apparates bestimmt wird, wenn alle Luft, durch welche Wärme von der Thermometerkugel zur Hülle geleitet werden kann, durch Evacuiren des Apparates beseitigt ist. Es dienen dann zur Bestimmung von k folgende zwei Gleichungen:

$$w \,.\, v = k \cdot \frac{4\pi R r}{R - r} + \sigma 4\pi r^2 + g + g'$$

$$w \,.\, v_\sigma = \sigma 4\pi r^2 + g + g'_\sigma.$$

Die Grösse k findet man dann in folgender Form:

$$k = \frac{w \,.\, (R - r)}{4\pi R r} (v - v_\sigma). \tag{6}$$

Durch Vernachlässigung der Grösse $(g' - g'_\sigma)$ kann auch dieses Resultat nur zu gross ausfallen, denn g', welches von k und von σ abhängt, ist grösser als g'_σ, welches von σ allein abhängt. Dass aber hier diese Vernachlässigung erlaubt ist, zeigt das Resultat, welches nach dieser Methode bedeutend kleiner wird, als das nach der vorigen Methode gefundene.

Nachdem es Hrn. Ebermayer glücklich gelungen war, die grosse Hülle (R_1) mit dem Thermometer zusammen zu schmelzen, bestimmte ich zunächst von Neuem die Abkühlungszeit des Apparates, wenn derselbe mit Luft gefüllt war, und hierauf begann ich mit der Herstellung des Vacuums. Da die Wärmeleitungsfähigkeit der Gase sich auch noch bei sehr geringen Drucken ziemlich bemerkbar macht, und ausserdem geringe Spuren von Wasserdampf, sowie kleine Reste der Luft mit grosser Festigkeit an den Glaswandungen anhaften, sich aber während des Versuches nach und nach loslösen, so bietet die Herstellung eines Vacuums, wie es diese Untersuchungsmethode verlangt, sehr grosse Schwierigkeiten, auf welche schon Kundt und Warburg aufmerksam gemacht haben.

Die Herstellung des Vacuums.

Für die Herstellung und die Haltbarkeit eines jeden Vacuums ist es von grossem Nachtheil, wenn der Abschluss

desselben durch einen Glashahn geschieht und wenn auf der Verbindungsstrecke des Apparates mit der Pumpe eine Anzahl von Glasschliffen vorhanden sind. Schon die Dämpfe des zur Dichtung der Hähne und Schliffe erforderlichen Fettes können schädlich wirken. Bei Anwendung einer Geissler'schen Pumpe können diese Mängel nie vollständig beseitigt werden, allein eine Vorrichtung an der Pumpe machte es mir möglich, eine grosse Anzahl der vorhandenen Glasschliffe von dem Apparate abzuschliessen. Auch der Glashahn, welcher bis jetzt den Abschluss des Apparates hergestellt hatte, wurde entfernt, sodass letzterer nur noch durch Abschmelzen von der Pumpe getrennt werden konnte.

Um schliesslich schon während des Auspumpens ein einigermaassen sicheres Urtheil über den erreichten Grad der Verdünnung der Luft zu gewinnen, habe ich durch ein seitliches Ansatzrohr eine Hittorf'sche Röhre mit der Pumpe verbunden, welche zugleich mit dem Apparat evacuirt wurde. Erst wenn der Inductionsstrom kein Aufleuchten der Röhre mehr hervorbringen konnte, wurde der Apparat abgeschmolzen. Es war aber durchaus nicht leicht, die Luft bis zu diesem Grade zu verdünnen. Zuerst musste der Apparat sehr sorgfältig mit trockener Luft gefüllt werden und dann wurde derselbe, sowie die Hittorf'sche Röhre, während des ganzen Evacuirens in einem nach allen Seiten verschlossenen, mit Luft gefülltem Gefäss auf einer Temperatur von 250° bis 300° erhalten. Erst nach vier- bis fünfstündigem Evacuiren traten durch den unteren Hahn der Pumpe keine bemerkbaren Luftmengen mehr aus und auch erst jetzt zeigte die Hittorf'sche Röhre den beschriebenen Verdünnungsgrad an. Der Apparat wurde nun abgeschmolzen und seine Abkühlungszeit im Bade von 0° Temperatur von 60° bis 8° von Grad zu Grad gemessen.

Wie Kundt und Warburg gezeigt haben, löst sich in einem solchen Vacuum mit der Zeit von den Glaswänden stets eine geringe Menge von Luft und Wasserdampf ab, und wenn dann nach einigen Stunden der Versuch wiederholt wird, so ergiebt sich jedesmal eine bedeutend kleinere Abkühlungszeit. Es wurden deshalb die Versuche unmittelbar nach dem Evacuiren angestellt und dann 15 Stunden später wiederholt.

Für die Rechnung sollte erst das Vacuum für genügend

betrachtet werden, in welchem das Thermometer dieselbe Abkühlungszeit ergab, gleichviel ob der Apparat vorher mit Luft, Wasserstoff oder Kohlensäure gefüllt war.

In der folgenden Tabelle sind die Abkühlungszeiten des Apparates von 60° bis 8° mitgetheilt, welche auf die eben beschriebene Weise erhalten wurden:

	Unmittelbar nach dem Auspumpen	15 Stunden später
1. Luftvacuum	1044 sec.	1034 sec.
2. Wasserstoffvacuum	1052	1060
3. Kohlensäurevacuum	1076	1065

Man ersieht aus diesen Zahlen deutlich, dass man unter Umständen für die Abkühlungszeit des Thermometers ein einem Luft-, H- und CO_2-Vacuum sehr gut übereinstimmende Werthe erhalten kann (die Abkühlungszeit im H-Vacuum ist sogar grösser als die im Luftvacuum), ohne die für diese Versuche erforderliche Verdünnung der Gase erreicht zu haben und zweitens erkennt man hier ein eigenthümliches Verhalten des H-Vacuums, welches früheren Beobachtern nicht aufgefallen ist. Während nämlich die Abkühlungszeit des Thermometers im Luft- und CO_2-Vacuum mit der Zeit abnimmt, nimmt dieselbe in dem H-Vacuum zu. Da jedoch dieses Resultat nur aus einem einzigen Versuche gewonnen ist, möchte ich hieraus noch keinen Schluss auf das Verhalten des Wasserstoffs ziehen, bevor nicht weitere Untersuchungen dieses Resultat bestätigt haben.

Die Ergebnisse dieser Versuche haben mich zu der Annahme gedrängt, dass es überhaupt nicht möglich ist, ein Vacuum, wie es diese Untersuchungsmethode beansprucht, mit den oben beschriebenen Mitteln zu erreichen. Ich hielt es für nothwendig, auf das Evacuiren noch viel mehr Zeit zu verwenden und erblickte in der Beseitigung sämmtlicher Glashähne und Schliffe eine unbedingt erforderliche Vorsichtsmaassregel. Ich habe deshalb diese Versuche noch einmal wiederholt, nachdem das Vacuum mit einer Sprengel'schen Pumpe hergestellt war, welche ich für diesen Zweck besonders construirt hatte.

Aus dem kleinen Rohre *A* (Fig. 7) läuft das Quecksilber tropfenweise in das 150 cm lange Fallrohr *B* und reisst auf diesem Wege stets Luft mit sich fort, welche schliesslich mit dem Quecksilber zusammen in das Gefäss *C* gelangt und dort in Form von kleinen Luftblasen austritt. Zur Regulirung der Ausflussgeschwindigkeit des Quecksilbers und zur Einführung

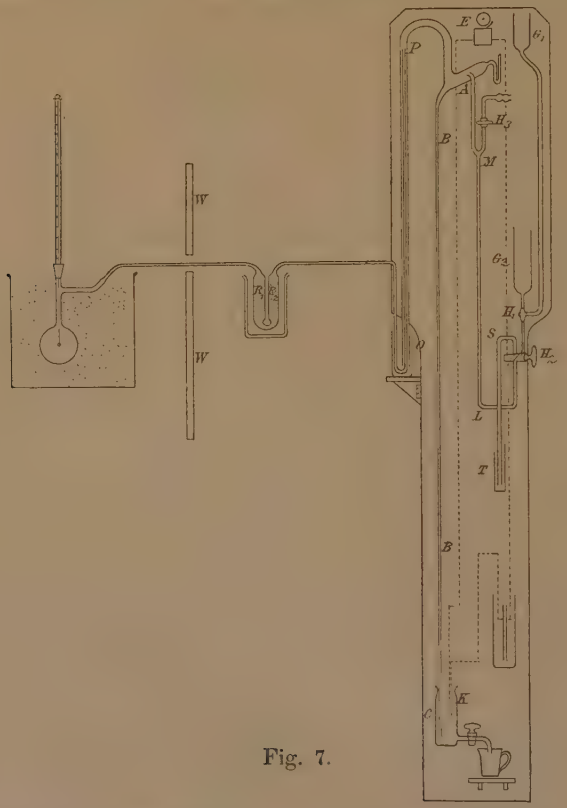

Fig. 7.

der gewünschten Gasarten in den Apparat sind Glashähne nothwendig, welche aber so angebracht wurden, dass durch eine Undichtigkeit derselben das erreichte Vacuum nicht beeinflusst werden konnte. Das Quecksilber gelangte zunächst aus dem Gefässe G_1 durch die beiden Glashähne H_1 und H_2, welche doppelte Bohrung besassen nach *L* und *M*, theilte sich hier und trat einerseits durch den Hahn H_3, welcher dann sofort geschlossen wurde, und andererseits in das Ausfluss-

rohr *A*. In H_2 wurde die Ausflussgeschwindigkeit regulirt. Das weite Rohr *OP* war dazu bestimmt, die Verbindung mit dem Apparate herzustellen, indem in dasselbe, wie in der Zeichnung zu sehen ist, ein an den Apparat angeschmolzenes, enges U-förmig gebogenes Rohr eingeführt und dann die Oeffnung *O* unter Quecksilber gebracht wurde. Da die Länge der Strecke *OP* 80 cm, also mehr als die gewöhnliche Barometerhöhe betrug, so war auf diese Weise eine absolut sichere und zugleich eine bewegliche Verbindung des Apparates mit der Pumpe hergestellt. War das Pumpen einige Zeit fortgesetzt worden, so konnte der Hahn H_1 um 90° gedreht werden, und jetzt trat das Quecksilber aus dem tiefer gelegenen Gefäss G_2 aus. Jedesmal wenn Quecksilber in die Gefässe G_1 oder G_2 nachgefüllt werden musste, wurde in *K* ein electrischer Contact geschlossen, durch welchen die Glocke *E* eingeschaltet wurde und zu läuten begann. Aber selbst wenn dieses Signal überhört wird, kann keine Luft in die Pumpe eindringen, weil die Länge der Strecke *AL* 80 cm, also mehr als die Barometerhöhe beträgt. Sollte schliesslich durch H_3 trockene Luft eingelassen werden, so wurde vorher H_2 um 180° gedreht; dadurch wurde die Verbindung *LST* hergestellt und das Quecksilber fiel von *A* bis *M*.

Ein grosser Vortheil dieser Pumpe besteht auch darin, dass man mit ausserordentlich wenig Quecksilber arbeiten kann. Ich hatte ungefähr 2,5 kg Quecksilber in Verwendung und konnte die Pumpe etwa eine Stunde ohne Aufsicht arbeiten lassen. Ein Nachtheil dieser Pumpe ist, wenigstens in mancher Beziehung, dass sie nur aus einem einzigen Stück besteht und deshalb schwer herzustellen ist; allein die Firma R. Ebermayer in München hat diese technischen Schwierigkeiten mit grosser Gewandtheit überwunden.

Bevor ich die Versuche wieder aufnahm, habe ich nochmals die Abkühlungszeit des Thermometers in dem sechs Wochen früher erzeugten CO_2-Vakuum bestimmt. Unmittelbar nach dem Auspumpen war damals die Abkühlungszeit von 60° bis 8° gleich 1076 sec. gefunden, jetzt ergab dieselbe nur noch 1005 Sec.

Die Hittorf'sche Röhre wurde bei diesen Versuchen nicht wieder in Anwendung gebracht, weil, wie ich aus anderen

Versuchen gesehen habe, die Gase an den Aluminiumelectroden viel fester anhaften, als an den Glaswandungen und deshalb die Herstellung des Vacuums dadurch nur verzögert werden kann. Schliesslich habe ich es noch versucht, eine weitere Fehlerquelle zu beseitigen, welche vielleicht auch auf das Resultat von Einfluss sein kann, nämlich die Quecksilberdämpfe. In das Verbindungsrohr des Apparates mit der Pumpe habe ich zu diesem Zwecke die beiden Röhren R_1 und R_2 von je 10 cm Länge eingeschaltet, von denen R_1 mit trockenem Phosphorsäureanhydrid gefüllt, zur Beseitigung der letzten Spuren von Wasserdampf diente, während sich in R_2 echtes Blattgold befand, welches den Quecksilberdämpfen Gelegenheit zur Amalgambildung geben sollte. Die beiden Röhren R_1 und R_2 erhielt ich während des ganzen Evacuirens durch eine Kältemischung auf der Temperatur -12^0 bis -15^0, um dadurch die Dämpfe zu condensiren und die Amalgambildung zu befördern. Dass diese Vorsichtsmaassregel nicht unbegründet war, zeigte sich nach Beendigung der Versuche; das an der Glaswandung anhaftende Gold war auf einer Fläche von ungefähr 2,5 qcm von Amalgam weiss geworden.

Die Brauchbarkeit des erhaltenen Vacuums wollte ich jetzt an der Aenderung der Abkühlungszeit des Thermometers nach Verlauf einiger Stunden erkennen; denn in einem absoluten Vacuum muss die Abkühlungszeit stets denselben Werth ergeben.

Nachdem der Apparat in der in Fig. 7 angegebenen Weise mit der Sprengel'schen Pumpe verbunden war, wurde die Temperatur desselben in einem Sandbade auf 300^0 gebracht und die Röhren R_1 und R_2 in die Kältemischung getaucht, welche durch eine Wand W aus Asbest vor der hohen Temperatur des Sandbades geschützt war. Weil nun mit der Geissler'schen Pumpe in viel kürzerer Zeit der Druck im Apparate bis auf 1 mm gebracht werden kann, als mit der Sprengel'schen, so verband ich den Hahn H_3 der letzteren durch einen dickwandigen Gummischlauch mit der Geissler'schen Pumpe, evacuirte mit dieser fünf bis sechs Mal den Apparat und füllte ihn zunächst jedesmal wieder mit trockener Kohlensäure. War zuletzt der Druck auf etwa 1 mm gebracht, so wurde in der oben beschriebenen Weise der Hahn H_3 geschlossen und die Sprengel'sche Pumpe in Thätigkeit gesetzt.

Nach etwa zweistündiger Arbeit trat bereits durch das Fallrohr *B* fast gar keine bemerkbare Menge von CO_2 mehr aus. Die Pumpe wurde jetzt abgestellt und der Apparat ruhig sich selbst überlassen. Nachdem am nächsten Morgen die Kältemischung erneuert war und der Apparat wieder die Temperatur 300° angenommen hatte, wurde die Pumpe wieder in Thätigkeit gesetzt und jetzt zeigten sich in dem Fallrohr sofort wieder kleine Mengen Kohlensäure, welche erst Nachmittags 3 Uhr nach 7stündigem Evacuiren vollständig verschwanden. Dennoch liess ich die Pumpe noch drei weitere Stunden arbeiten, wobei während der ganzen Zeit nicht die geringste Menge von Kohlensäure im Rohre *B* zu bemerken war. Abends 6 Uhr wurde der Apparat abgeschmolzen, kam sofort in das Bad von 0° Temperatur, und hier zeigte sich bald, dass alle diese Vorsichtsmaassregeln nicht ohne Einfluss auf das Resultat geblieben waren. Die Abkühlungszeit betrug jetzt 1108 Sec. Als ich jedoch den Versuch 15 Stunden später wiederholte, ergab sich, dass sich auch jetzt noch das Vacuum verschlechtert hatte; als Abkühlungszeit fand ich jetzt 1096 Sec. Ich verband deshalb den Apparat zum zweiten Male mit der Sprengel'schen Pumpe und stellte das Vacuum genau in derselben Weise noch einmal her, ersetzte aber dabei die Kohlensäure durch Wasserstoff. Während der 27 Stunden, in denen der Apparat auch diesmal mit der Pumpe verbunden blieb, zeigte sich nichts wesentlich Neues, nur das eine ist hervorzuheben, dass diesmal die Pumpe schon 4 Stunden früher, als bei Anwendung von Kohlensäure kein Gas mehr fortzuschaffen schien.

Die Versuche, welche ich mit diesem Vacuum angestellt habe, zeigten, dass ich jetzt den gewünschten, für die Berechnung brauchbaren Grad der Verdünnung erreicht hatte. Für die Abkühlungszeit des Thermometers von 60° bis 8° fand ich:

unmittelbar	nach	dem	Auspumpen	1158 sec.
15 Stunden	„	„	„	1160 sec.
48 Stunden	„	„	„	1156 sec.

Innerhalb 48 Stunden hatte sich somit die Abkühlungszeit nur innerhalb der Grenze der Beobachtsfehler geändert.

Die Beobachtungen.

Beim Anschmelzen der Hülle an das Thermometer hatte sich an der Schmelzstelle das Capillarrohr des Thermometers etwas erweitert, infolge dessen war das Quecksilber in demselben gefallen und zwar um 7,38°. Die Beobachtungen wurden deshalb von 52,5° bis 0,5° angestellt, ein Intervall, welches somit zwischen den Temperaturen 59,88° und 7,88° liegt. Um wenigstens an einer Stelle ein Beispiel zu geben, um wieviel meine Versuche unter sich voneinander abweichen, habe ich in Tab. IV alle Zahlen mitgetheilt, aus denen schliesslich k berechnet wurde. Die von fünf zu fünf Grad gerechneten

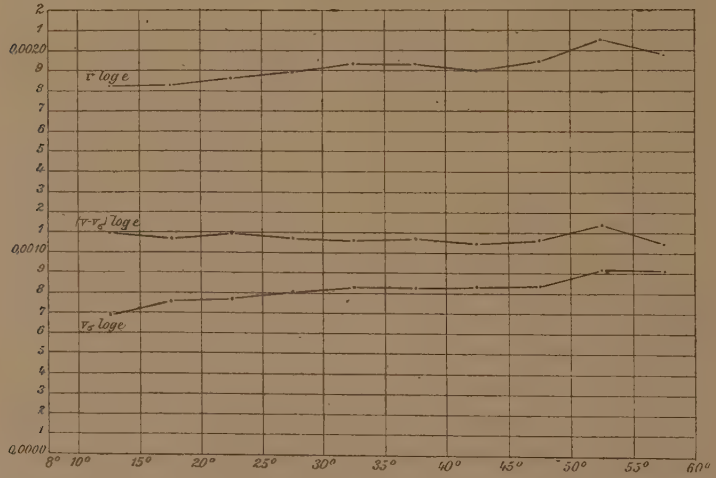

Fig. 8.

Werthe von $v \cdot \log e$, $v_o \log e$ und von $(v - v_o) \log e$ sind ausserdem in Fig. 8 graphisch dargestellt.

Ebenso wie bei den früheren Untersuchungen zeigt sich auch hier, dass die Differenz $(v - v_o) \log e$ mit steigender Temperatur weder eine Zu- noch eine Abnahme erkennen lässt. Ausserdem sieht man auch aus der graphischen Darstellung deutlich, das $v \log e$ von 60° bis 55° zunimmt, dass also bei Beginn dieser Versuche die Temperatur der Hülle noch nicht 0° erreicht hatte.

Als Mittelwerth für $(v - v_o) \log e$ findet man:

$$*(v - v_o) \log e = 0{,}00109$$

und für die absolute Wärmeleitungsconstante der Luft ergiebt sich:

$$k = 0{,}00005572$$

Dieses Resultat zeigt eine ziemlich starke Abweichung von den von Kundt und Warburg und Graetz gefundenen Werthen. Zur Erklärung derselben lässt sich folgendes anführen:

1. Kundt und Warburg sowie Graetz benutzten zur Herstellung des Vacuums eine Geissler'sche Pumpe und liessen die den Apparat erfüllenden Quecksilberdämpfe unbeachtet. Solange sich aber in dem evacuirten Apparate zwischen Thermometer und Hülle noch geringe Mengen von Gasen oder Dämpfen befinden, wird die Abkühlungszeit des Thermometers verkürzt und das Resultat wird zu klein gefunden. Die gute Uebereinstimmung der Resultate von Kundt und Warburg und Graetz spricht nun dafür, dass in beiden Fällen mit der gleichen Sorgfalt die letzten Reste der vorhandenen *Gase* aus dem Apparat entfernt wurden, soweit dies mit der Geissler'schen Pumpe möglich war, und es erscheint somit wahrscheinlich, dass die vorhandenen *Quecksilberdämpfe* das Resultat merklich beeinflusst haben.

2. Ein weiterer Umstand, welcher die Beobachtungen von Kundt und Warburg und Graetz zu klein werden liess, ist folgender: Bei der Bestimmung des Wasserwerthes des Thermometergefässes benutzte Hr. Graetz nicht nur für seine eigenen Versuche, sondern auch für die von Kundt und Warburg für die specifische Wärme des Glases einen Werth, welcher im Jahre 1817 von Dulong und Petit bestimmt worden war. Nun übt aber die chemische Zusammensetzung der Gläser einen sehr grossen Einfluss auf die specifische Wärme derselben aus und es muss daher diese Grösse für jede Glassorte besonders bestimmt werden. Die Apparate, mit denen Kundt und Warburg und Graetz arbeiteten, waren von Geissler in Bonn geliefert und aus Thüringer Glas hergestellt. Bestimmungen der specifischen Wärme von solchen Glassorten stammen aber erst aus den Jahren 1884 und 1887. A. W. Velten [1]) gab an, das die specifischen Wärme des von ihm untersuchten Glases zwischen den Grenzen 0,2019 und 0,2022 liegen muss; R. Bunsen [2]) fand für die

1) A. W. Velten. Wied. Ann. Bd. 21, Seite 31. 1884.
2) R. Bunsen. Wied. Ann. Bd. 31, Seite 1. 1887.

Tabelle IV.

τ	$p=15$ mm	$p=10$ mm	$p=5$mm	Mittel	$p=0$ mm			Mittel	$v \cdot \log e$	$v_\sigma \log e$	$(v-v_\sigma)\log e$
59,88°	0	0	0	0	0	0	0	0			
	3,6	3,6	3,7	3,6	8	8	8	8	0,00 203	0,00 092	0,00 111
	7,5	7,3	7,5	7,4	16	16	16	16	0,00 196	0,00 093	0,00 103
	11,1	10,9	11,2	11,1	24	25	24	24	0,00 204	0,00 095	0,00 109
	14,8	14,9	14,7	14,8	32	33,5	33	33	0,00 208	0,00 087	0,00 121
5488	18,7	18,8	18,5	18,7	41	42,5	42	42	0,00 202	0,00 087	0,00 115
	22,6	22,4	22,3	22,4	49,5	51	50,5	50	0,00 215	0,00 100	0,00 115
	26,4	26,4	26,3	26,4	58	60	59	59	0,00 203	0,00 090	0,00 113
	30,5	30,3	30,5	30,4	67	69	68,5	68	0,00 207	0,00 092	0,00 115
	34,7	34,3	34,6	34,5	76,5	78,5	77,5	77,5	0,00 206	0,00 089	0,00 117
49,88	39,0	38,7	38,9	38,9	86	88	87,5	87	0,00 196	0,00 091	0,00 105
	43,2	43,1	43,3	43,2	96	98	97,5	97	0,00 204	0,00 088	0,00 116
	47,5	47,4	47,3	47,4	106	108	107,5	107	0,00 213	0,00 090	0,00 123
	52,2	52,1	52,3	52,2	117	119	118	118	0,00 191	0,00 083	0,00 108
	57,1	56,9	57,0	57,0	—	130	129	129,5	0,00 195	0,00 082	0,00 113
44,88	62,0	62,0	62,2	62,1	139	141,5	140,5	140,5	0,00 187	0,00 087	0,00 100
	67,2	67,2	67,3	67,2	150,5	153	152,5	152	0,00 189	0,00 085	0,00 104
	72,4	72,3	72,5	72,4	162	165	164,5	164	0,00 193	0,00 084	0,00 109
	77,7	77,7	77,7	77,7	174,5	177	176,5	176	0,00 193	0,00 086	0,00 107
	83,1	83,0	83,3	83,1	187	189,5	189	188,5	0,00 195	0,00 084	0,00 111
39,88	88,5	88,4	88,6	88,5	199,5	202,5	201,5	201	0,00 199	0,00 086	0,00 113
	94,2	94,0	94,1	94,1	212,5	215	214	214	0,00 198	0,00 085	0,00 113
	99,7	99,8	99,9	99,8	226	229	228	228	0,00 199	0,00 081	0,00 118
	106,1	105,6	105,8	105,8	240	243	242	242	0,00 194	0,00 083	0,00 111
	111,8	111,9	112,2	112,0	255	257	256	256	0,00 193	0,00 085	0,00 108
4,88	118,4	118,2	118,4	118,3	270	272	271	271	0,00 195	0,00 082	0,00 113

τ	$p=15$ mm	$p=10$ mm	$p=5$ mm	Mittel	$p=0$ mm			Mittel	$v \cdot \log e$	$v_\sigma \log e$	$(v-v_\sigma)\log e$
	124,7	124,8	125,1	124,9	284	287	286	286	0,00 192	0,00 085	0,00 107
	131,1	131,4	131,9	131,6	301	303	302	302	0,00 195	0,00 082	0,00 113
	138,2	138,2	138,1	138,2	317	319	318	318	0,00 204	0,00 084	0,00 120
	145,2	145,1	145,3	145,2	334	336	335	335	0,00 197	0,00 082	0,00 115
29,88	153,0	152,7	152,9	152,9	352	355	353	353	0,00 186	0,00 080	0,00 106
	160,4	160,8	160,9	160,6	370	373	372	372	0,00 191	0,00 079	0,00 112
	168,6	168,3	168,7	168,5	389	392	391	391	0,00 194	0,00 081	0,00 113
	176,6	176,4	177,1	176,4	409	412	410	410	0,01 200	0,00 084	0,00 116
	185,3	185,2	185,6	185,3	430	433	434	432	0,00 186	0,00 078	0,00 108
24,88	194,4	194,1	194,6	194,4	451	455	453	453	0,00 189	0,00 078	0,00 111
	203,3	203,3	203,7	203,4	474	477	475	475	0,00 198	0,00 081	0,00 117
	213,2	213,2	213,8	213,4	498	501	499	499	0,00 186	0,00 077	0,00 109
	223,5	223,5	224,5	223,8	523	526	525	525	0,00 187	0,00 075	0,00 112
	234,5	234,5	234,9	234,6	550	553	552	552	0,00 188	0,00 075	0,00 113
19,88	245,3	245,8	245,8	245,6	579	582	580	580	0,00 194	0,00 076	0,00 118
	257,7	257,7	258,4	257,9	609	613	610	611	0,00 182	0,00 072	0,00 110
	270,5	270,4	271,0	270,6	642	645	642	643	0,00 186	0,00 074	0,00 112
	283,2	283,7	284,2	283,7	674	677	675	675	0,00 191	0,00 078	0,00 113
	297,7	298,0	298,4	298,0	711	714	711	712	0,00 185	0,00 072	0,00 113
14,88	313,5	313,3	313,8	313,5	750	753	751	751	0,00 183	0,00 073	0,00 110
	329,5	330,0	330,3	329,9	791	795	793	793	0,00 184	0,00 072	0,00 112
	347,6	348,0	348,4	348,0	838	842	839	840	0,00 179	0,00 069	0,00 110
	366,8	366,6	367,3	366,9	889	893	888	890	0,00 186	0,00 070	0,00 116
	386,6	387,3	387,5	387,1	943	946	942	943	0,00 185	0,00 072	0,00 113
9.88	409,8	409,9	409,8	409,8	1105	1008	1005	1006	0,00 185	0,00 067	0,00 118
	435,6	435,9	435,7	435,7	1076	1079	1076	1077	0,00 179	0,00 065	0,00 114
7,88	465,0	465,1	465,0	465,0	1158	1160	1156	1158	0,00 176	0,00 064	0,00 112

specifische Wärme des zu seinen Versuchen dienenden Glases 0,1990 ± 0,0007. Die specifische Wärme des Thüringer Glases ist also im Mittel 0,2010, also bedeutend grösser als der von Dulong und Petit angegebene Werth 0,177. Der Wasserwerth der Thermometergefässe wurde also von Hrn. Graetz zu klein angenommen und folglich musste auch das Resultat zu klein werden.

Dass diese hier gegebenen Erklärungen genügen können, sollen folgende Zahlen beweisen:

Nach Einführung der Mittelwerthe für $(v - v_\sigma)$ log e ergeben die Versuche von Kundt und Warburg: $k = 0{,}0000\,491$, die Versuche von Graetz: $k = 0{,}0000\,490$. Vergleiche Seite 46. Wird ausserdem noch die specifische Wärme des Thüringer Glases gleich 0,2010 gesetzt, so ergeben die Graetz'schen Versuche $k = 0{,}00\,005\,183$. (Für die Versuche von Kundt und Warburg konnte die entsprechende Rechnung nicht durchgeführt werden, weil mir das Gewicht des im Thermometer enthaltenen Glases und Quecksilbers nicht bekannt war.)

Benutzte ich dagegen zur Berechnung meiner Versuche die Abkühlungszeit des Thermometers in dem besten, mit der Geisslerschen Pumpe erreichten Vacuum, welches also noch Quecksilberdämpfe enthielt, so fand ich: $k = 0{,}0000\,524$ und wenn ich dann noch für die specifische Wärme des Glases denselben Werth einführte, den Hr. Graetz benutzt hatte, nämlich 0,177, so ergab sich $k = 0{,}0000\,495$, also ein Resultat, welches mit den von Kundt und Warburg und Graetz gefundenen Werthen sehr gut übereinstimmt.

Neue Berechnung der Versuche von Kundt und Warburg und Graetz.

Die in Tabelle V mitgetheilten Zahlen sollen zeigen, dass die Differenz $(v - v_\sigma)$ log e nicht nur bei meinen Versuchen von der Temperatur unabhängig ist, sondern dass dieses eigenthümliche Verhalten auch die meisten Versuche von Kundt und Warburg und Graetz zeigen. t_l bedeutet die Abkühlungszeit des Thermometers, v_l die Abkühlungsconstante des Apparates, wenn derselbe mit Luft gefüllt war. Das Entsprechende gilt für Wasserstoff (t_w und v_w) und für Kohlensäure (t_k und v_k). t_σ und v^σ beziehen sich auf die Strahlungs-

Tabelle V.

Versuche von Kundt und Warburg.

τ	t_l	$v_l \log e$	t_w	$v_w \log e$	t_k	$v_k \log e$	t_σ	$v_\sigma \log e$	$(v_l - v_\sigma) \log e$	$(v_w - v_\sigma) \log e$	$(v_k - v_\sigma) \log e$
59,3	0		0		0		0				
54,3	21	0,00 182	—	0,00 720	26	0,00 147	43	0,000 89	0,000 93	0,00 575	0,000 58
49,4	45	0,00 171	11		55	0,00 142	91	0,000 855	0,000 85		0,000 56
44,4	70,5	0,00 182	—	0,00 751	87	0,00 145	144	0,000 875	0,000 94	0,00 610	0,000 57
39,5	100	0,00 172	24,5		124	0,00 137	206	0,000 82	0,000 90		0,000 55
34,6	133	0,00 175	—	0,00 687	166	0,00 137	276	0,000 825	0,000 92	0,00 531	0,000 54
29,7	172,5	0,00 168	42		215	0,00 135	359	0,000 80	0,000 88		0,000 55
24,7	219,5	0,00 170	—	0,00 720	275	0,00 133	461	0,000 78	0,000 91	0,00 586	0,000 54
19,6	278	0,00 172	67		350	0,00 137	588	0,000 79	0,000 93		0,000 55

Versuche von Graetz. Apparat I. Niedere Temperaturen.

63,0	0		0		0		0				
57,8	20	0,00 187	5	0,00 750	26	0,00 144	41	0,000 91	0,000 96	0,00 659	0,000 53
52,6	43,5	0,00 174	11	0,00 682	55	0,00 141	88	0,000 87	0,000 87	0,00 695	0,000 54
47,4	69	0,00 178	17	0,00 755	86	0,00 146	143	0,000 82	0,000 96	0,00 673	0,000 64
42,2	97	0,00 180	23	0,00 840	122,5	0,00 140	204	0,000 83	0,000 97	0,00 775	0,000 57
37,0	129	0,00 178	32	0,00 635	163,5	0,00 139	275	0,000 80	0,000 98	0,00 555	0,000 59
31,7	167	0,00 177	41	0,00 745	210,5	0,00 140	356	0,000 83	0,000 94	0,00 662	0,000 57
26,5	211	0,00 177	52	0,00 707	267	0,00 137	454	0,000 79	0,000 98	0,00 628	0,000 58
21,2	266	0,00 176	65	0,00 745	336,5	0,00 139	587	0,000 73	0,001 03	0,00 672	0,000 66

Apparat II. Niedere Temperaturen.

60,6	0		0		0		0				
55,6	17	0,00 220	4,5	0,00 830	22	0,00 170	37	0,000 99	0,00 121	0,00 731	0,000 71
50,5	37,5	0,00 204	9,5	0,00 835	46,5	0,00 170	79	0,000 99	0,00 105	0,00 736	0,000 71
45,5	60	0,00 201	15	0,00 823	74	0,00 165	126	0,000 96	0,00 105	0,00 727	0,000 69
40,5	83,5	0,00 215	21	0,00 842	104,5	0,00 166	180	0,000 94	0,00 111	0,00 748	0,000 72
35,5	111,5	0,00 204	28	0,00 818	140,5	0,00 159	242	0,000 92	0,00 112	0,00 726	0,000 67
30,5	144	0,00 203	36	0,00 823	181,5	0,00 161	315	0,000 90	0,00 113	0,00 733	0,000 71
25,5	183	0,00 199	45	0,00 863	230	0,00 160	404	0,000 87	0,00 112	0,00 776	0,000 73
20,5	232	0,00 193	57	0,00 790	290	0,00 158	517	0,000 84	0,00 109	0,00 706	0,000 74

beobachtungen. Die Abkühlungszeiten sind die Mittelwerthe aus den damals zur Berechnung der Wärmeleitungsconstanten der Luft (k_l), des Wasserstoffs (k_w) und der Kohlensäure (k_k) benutzten Versuchsreihen.

Die Differenzen $(v_l - v_\sigma) \log e$, $(v_w - v_\sigma) \log e$ und $(v_k - v_\sigma) \log e$ ändern ihren Werth, wie man aus der Tabelle ersieht, fast nur im Bereiche der Beobachtungsfehler. In einigen Fällen zeigen dieselben mit steigender Temperatur eine Zunahme, an anderen wieder eine Abnahme. Betrachtet man nun diese Differenzen als constant und benutzt dann die Mittelwerthe zur Berechnung der Wärmeleitungsconstanten, so muss das Resultat grösser als das früher gefundene ausfallen, wenn der Temperaturcoefficient der Differenz positiv war, kleiner dagegen, wenn er negativ war. Diese Berechnung ergab:

I. Versuche von Kundt und Warburg:

$k_l = 0{,}0000\,491$ früher $k_l = 0{,}0000\,492$
$k_w = 0{,}0003\,147$ „ $k_w = 0{,}0003\,515$
$k_k = 0{,}0000\,303$ „ $k_k = 0{,}0000\,290$

II. Versuche von Graetz:

Apparat I	$k_l = 0{,}00\,004\,796$	früher	$k_l = 0{,}00\,004\,844$
„ II	$k_l = 0{,}00\,005\,007$	„	$k_l = 0{,}00\,004\,831$
Mittel	$k_l = 0{,}00\,004\,902$	„	$k_l = 0{,}00\,004\,838$
Apparat I	$k_w = 0{,}00\,033\,30$	„	k_w[1]) $= 0{,}00\,030\,86$
„ II	$k_w = 0{,}00\,033\,08$	„	$k_w = 0{,}00\,032\,41$
Mittel	$k_w = 0{,}00\,033\,19$	„	$k_w = 0{,}00\,031\,63$
Apparat I	$k_k = 0{,}00\,002\,938$	„	$k_k = 0{,}00\,003\,135$
„ II	$k_k = 0{,}00\,003\,199$	„	$k_k = 0{,}00\,003\,048$
Mittel	$k_k = 0{,}00\,003\,068$	„	$k_k = 0{,}00\,003\,091$.

Eine Vergleichung der Resultate der Versuche von Kundt und Warburg mit denen der Graetzschen Versuche lehrt, dass die Abweichung derselben voneinander durch diese neue Berechnungsweise noch reducirt wird. Ausserdem sieht man hier, dass der Temperaturcoefficient der Differenzen $(v - v_\sigma) \log e$ fast ebenso oft positiv wie negativ war und somit keine Zunahme dieser Grösse mit steigender Temperatur constatirt werden konnte.

1) Die Versuche mit Wasserstoff sind von Hr. Graetz anders berechnet als die Versuche mit Luft und Kohlensäure.

Zusammenstellung der Resultate.

Zur Erklärung der grossen Abweichung der Resultate von Kundt und Warburg und Graetz von den Winkelmann'schen Resultaten kann ich auf Grund meiner Versuche folgendes angeben:

1. Da meine Versuche mit dem Metallapparat nach der I. Untersuchungsmethode ein Resultat ergeben, welches von der Temperatur, bei welcher die Beobachtungen liegen, abhängig ist, so ist nicht ausgeschlossen, dass die Winkelmann'schen Resultate, welche in ähnlicher Weise erhalten wurden, vielleicht auch von der Lage des Beobachtungsintervalles beeinflusst sind.

2. Die Versuche von Kundt und Warburg und Graetz ergeben ein zu kleines Resultat, und zwar glaube ich nach meinen Versuchen als Ursache hiefür folgende zwei Umstände anführen zu dürfen: 1. Das von diesen Beobachtern erreichte Vacuum scheint hauptsächlich infolge der noch vorhanden gewesenen Quecksilberdämpfe nicht genügt zu haben und 2. wurde damals der Wasserwerth der Thermometergefässe zu klein angenommen, weil die specifische Wärme des Thüringer Glases erst nach dieser Zeit ermittelt wurde. Soviel ich aus meinen Versuchen ersehen konnte, kann durch die Vernachlässigung dieser beiden Umstände das Resultat um etwa 14 Proc. zu klein gefunden werden.

Die Versuche nach der zweiten Untersuchungsmethode mit dem Metallapparat und die ersten Versuche mit dem Glasapparat haben gezeigt, wie gross unter Umständen der Einfluss der Glasleitung werden kann.

Für die absolute Wärmeleitungsconstante der Luft erhielt ich durch die Versuche mit dem Glasapparat nach der Methode von Kundt und Warburg als Resultat:

$$k = 0{,}000\,056 \frac{\text{gramm}}{\text{centim. secunde}}.$$

Dieser Werth ist jedoch immer noch aus zwei Gründen unsicher; erstens wurde der Einfluss der Glasleitung nicht vollständig eliminirt, und zweitens können die Glasapparate, welche bei diesen Versuchen in Anwendung kommen, nie in der exacten Form hergestellt werden, wie es eigentlich nothwendig wäre.

Will man auch diese beiden Uebelstände noch beseitigen, so findet man dazu einen Weg, wenn man in der ersten Methode der Untersuchung mit dem Metallapparat auf p. 20 die Grösse $f(R_1, r)$ nicht durch die Versuche mit Wasserstoff eliminirt, sondern bestimmt. Man findet dann k aus der Gleichung:

$$k = \frac{w(R_2 - r)(v_2 - v_1)}{4\pi R_2 r - (R_2 - r) f(R_1, r)}$$

Da durch meine Versuche die Zahlenwerthe aller auf der rechten Seite der Gleichung stehenden Grössen bekannt sind, so dürfte es sich lohnen, auf diese Weise ein neues Resultat für die Wärmeleitungsconstante der Luft zu finden.

Vorstehende Untersuchungen wurden im physikalischen Institut der Kgl. Universität München ausgeführt und spreche ich den Herren Professoren Dr. v. Lommel und Dr. Graetz für die Anregung zu dieser Arbeit und die Förderung derselben, sowie dem Herrn Professor Dr. Seeliger für die gütige Ueberlassung des Chronographen meinen herzlichsten Dank aus.

München, im Mai 1896.